

**SVERIGES
LANTBRUKSUNIVERSITET**

ENERGIANALYSER AV BIOBRÄNSLEN FRÅN HÖSTVETE, RAPS OCH SALIX

**Energy Analysis of Biofuels from Winter wheat,
Rape seed and Salix**

Ulf Sonesson

Institutionen för lantbruksteknik

**Swedish University of Agricultural Sciences
Department of Agricultural Engineering**

Rapport 174

Report

Uppsala 1993

ISSN 0283-0086

ISRN SLU-LT-R--174--SE

DOKUMENTDATABLAD för rapportering till SLU:s lantbruksdatabas LANTDOK,
Svensk lantbruksbibliografi och AGRIS (FAO:s lantbruksdatabas)

Institution/motsvarande Inst f lantbruksteknik		Dokumenttyp Rapport	
		Utgivningsår 1993	Målgrupp F, R
Författare/upphov Ulf Sonesson			
Dokumentets titel Energianalyser av biobränslen från höstvet, raps och salix Energy Analysis of Biofuels from Winter wheat, Rape seed and Salix			
Amnesord (svenska och /eller engelska) Biobränsle, Bioenergi, Energianalys, Energibalans, Energiskog, Energi- spannmål, Energisystemanalys, Etanol, Rapsmetylester, Rapsolja, Salix Bioenergy, Biofuel, Biomass Utilization, Energy, Energy analysis, Energy balances, Energy systems, Analysis, Ethanol, Rape methyl ester, Rape Oil, Salix, Short rotation forestry			
Projektnamn (endast SLU-projekt)			
Serie-/tidskriftstitel och volym/nr Sveriges lantbruksteknik, Inst f lantbruksteknik, Rapportserien, Rapport 174		ISBN/ISRN SLU-LT-R---174-SE	
		ISSN 0283-0086	
Språk Svenska	Smf-språk Svenska/Engelska	Omfång 54	Antal ref. 42

Postadress

SVERIGES LANTBRUKSUNIVERSITET
Ultunabiblioteket, Förvärvsavdelningen/LANTDOK
Box 7071
S- 750 07 UPPSALA
Sweden

Besöksadress

Centrala Ultuna 22
Uppsala

Telefonnummer

018-67 10 00 vx
018-671103

Telefax

018-3010 06

FÖRORD

Den här redovisade undersökningen har utförts som ett examensarbete inom projektet "Systemstudier inom skogs- och lantbruket" vid Institutionen för lantbruksteknik.

Systemstudierna syftar till att utföra allmänna och övergripande systemstudier angående biobränslen och finansieras av NUTEK (NUTEK 146 310-2 Systemstudier Ull). Projektet påbörjades 1988 och kommer att avslutas under 1993. I projektet ingår bl.a att utföra energibalansberäkningar för olika energigrödor.

Odling, skörd, lagring, transport och förädling av bioenergiråvaror kräver insats av energi. För framställning och spridning av gödsel och bekämpningsmedel och för tillverkning av skogs- och jordbruksmaskiner och förädlingsutrustning åtgår stora mängder olja och elektricitet. Dessa i termodynamisk mening högvärdiga energislag, används för att producera bioenergi i form av fasta ämnen, etanol, vegetabilisk olja och biogas. Genom att ställa mängd och kvalitet av insatt energi i relation till mängd och kvalitet av utvunnen energi kan man jämföra olika biobränslen, odlingsmetoder och odlingsintensiteter mot varandra och bedöma vilka som är mest lönsamma ur energisynpunkt.

Ulf Sonesson har i sin undersökning studerat produktion av fastbränsle och etanol från salix, produktion av rapsolja och rapsmetylester samt produktion av etanol från höstvet.

Uppsala i augusti 1993

Anders Almquist
Projektledare

REFERAT

Bakgrund

Odling av olika grödor för energiändamål är både ett sätt att minska problemet med överskottsproduktion av livsmedel och ett sätt att öka produktionen av biobränslen inom landet. En ökad användning av biobränslen är en viktig del av arbetet med att minska utsläppen av koldioxid från förbränning. Biobränslen bidrar inte med något nettotillskott av koldioxid då den mängd kol som släpps ut vid förbränning har tagits upp från atmosfären av växten under dess tillväxt.

Denna dubbla funktion är på ett sätt fördelaktig då fler parter än en anser sig ha nytta av en ökad energiodling på åkermark. Men den kan leda till problem då de olika intressena av bioenergi från åkermark har delvis olika prioriteringar. Från bondesidan är man intresserad av en ersättningsgröda för livsmedelsproduktionen, en gröda som gör det möjligt att ha kvar sysselsättning på gården och som ger rimlig ekonomisk avkastning.

Användarna av bioenergin vill ha ett bränsle som tekniskt och ekonomiskt är bättre än fossila bränslen och där tillförlitligheten är minst lika bra.

Från en nationalekonomisk synvinkel kan det vara intressant med en energigröda som avkastar maximalt med energi per hektar med minsta möjliga miljöpåverkan, det vill säga utnyttjar resursen åkermark optimalt.

Ovanstående gör att frågan om vilken gröda man ska satsa på är mycket komplex. Många avvägningar måste göras och vilken gröda man än väljer kommer något eller några av ovanstående mål att bli åsidosatt.

Arbetet är utfört som ett examensarbete vid institutionen för lantbruksteknik vid Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala, på uppdrag av NUTEK.

Metod

Det jag gjort i detta arbete är en energibalansberäkning på tre av de grödor och produkter som förekommit i diskussionen. Energiskog av salix, både värme- och etanolproduktion. Raps för pressning av olja och förestning av nämnda olja samt till sist spannmål för energiändamål, både värme- och etanolproduktion.

Den metod jag använt kallas processanalysmetoden. Den går ut på att energibehovet för tillverkningen beräknas utifrån den färdiga produkten baklänges genom alla led till råvarorna, energiinsatserna i varje led summeras och bildar energiåtgången för att framställa produkten.

Energiåtgången för de använda maskinerna inkluderar energin som åtgår för att framställa dessa samt tar hänsyn till hur stor del av maskinens livslängd den används i odlingen.

Transporter med lastbil är beräknade med ett schablonvärde per kg och km.

Energiinsats i byggnader har ej beaktats, dessa antas vara befintliga och därmed inte belasta analysen. Insats av mänskligt arbete är heller inte medräknat. Det är svårt att avgränsa hur stor del av brukarens totala energiinsats som ska belasta analysen. Ska till exempel hans familjs fritidsintressen eller barns skolgång räknas med? På grund av dessa avgränsningssvårigheter har jag alltså valt att inte ta med den mänskliga energiinsatsen alls.

Slutligen har kvoten mellan insatt energi och "energiskörd" (Effektivt värmevärde i produkten per hektar) bildats och dessa kvoter för de olika grödorna är resultatet.

Resultat

- ▣ Salix för värmeproduktion: 19,3 gånger insatsen
- ▣ Etanol från salix: 1,82 gånger insatsen
- ▣ Kallpressad rapsolja: 3,08 gånger insatsen
- ▣ Förestrad rapsolja, RME: 2,74 gånger insatsen
- ▣ Spannmål för värmeproduktion: 3,79 gånger insatsen
- ▣ Etanol från spannmål: 1,25 gånger insatsen

Som energiskörd räknas effektiva värmevärdet i produkten fritt användaren. Detta innebär att transporter i vissa fall ingår medan det i andra fall antas att produkten används på gården, så är fallet med kallpressad rapsolja.

I kalkylen för spannmål ingår halmeldning, ett ton per hektar och år bärgas, dessutom ingår torkning av draken. Även i rapskalkylen ingår halmeldning, dock med en lägre antagen halmskörd.

Alla analyser är gjorda på typodlingar av respektive gröda och är inte allmängiltiga. Så långt det är möjligt har förutsättningarna för de olika grödorna valts lika, detta för att göra jämförelser mellan de olika grödorna mer värdefulla.

Förutsättningarna är relativt gynnsamma med avseende på geografisk placering av fälten (Gns), fältform och jordart.

SUMMARY

Growing various crops on surplus arable land as a source of energy has become a matter of discussion in Sweden. One reason for that is that there are a lot of different priorities depending on what interest you have in agriculture and society as a whole.

The farmers want to stay farmers and are looking for a crop that can replace food producing crops and give a reasonable profit.

The users of the bioenergy want a fuel which is better than fossil fuels both technically and economically.

There is also an environmental view of energy production. Using bioenergy instead of fossil fuels is a way to diminish the greenhouse effect.

Regarding the interest of society there can be of value to cultivate a crop with maximum yield of energy and a minimum of environmental effects.

Following of what is said above, the matter of choosing an energy crop is very complex. No matter what crop you choose, one or more of the priorities mentioned above will be set aside.

This study is carried out for the Department of Agricultural Engineering at the Swedish University of Agricultural Sciences at the request of NUTEK.

The purpose of my work is to establish energy balances for three of the energy crops that have been under evaluation.

These crops are:

- Salix, for heat production or for producing ethanol as a fuel for Otto engines.
- Rape seed for production of oil as a fuel for modified diesel engines, or processed oil for ordinary diesel engines.
- Winter wheat, for heat production or for producing ethanol as a fuel for Otto engines.

The method used is that I have presupposed all the conditions for the cultivation. With those conditions known I calculated the number of machine hours and the consumption of fuels and fertilizer etc. The machine hours were needed in computing how much of the energy used in manufacturing the machines that should charge the cultivation.

Data on specific energy amounts in machines and materials include the energy needed for mining, transport and manufacture.

Energy used in buildings are not included in the analyses, neither is energy in form of human labour.

After calculation the total input, I have calculated the energy ratio.

Energy ratio=energy out/energy in. The energy ratio for different crops and products, below, is the result of the study.

❑ Salix for heat production:	19.3
❑ Ethanol from salix:	1.82
❑ Rape seed oil:	3.08
❑ Rape methyl ester:	2.74
❑ Winter wheat for heat production:	3.79
❑ Ethanol from winter wheat:	1.25

All analyses are made on specific assumptions. The results are therefore not valid in general.

According to the ratios above it seems quite simple to choose an energy crop. But as mentioned above, it is a complex matter, depending on what priorities you have. And the energy ratio is not the only measure of efficiency in cultivation. You can compute the surplus energy per hectare as well, or the ratio between input of fossil fuels and electricity and output of biofuel. That last ratio, the fuel ratio is highest for wheat for ethanol production. That is an example on the complexity in this matter.

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

INLEDNING.....	1
FÖRUTSÄTTNINGAR.....	2
Energiinnehåll i maskiner.....	3
ENERGISKOG AV SALIX.....	4
Inledning, salix.....	4
Odlingssystem, salix.....	4
Omdrev ett:.....	5
Omdrev två till sex:.....	5
Förutsättningar, salix.....	6
Beskrivning av varje moment.....	6
Stubbearbetning:.....	6
Plöjning:.....	6
Harvning:.....	7
Plantering:.....	7
Mekanisk ogräsbekämpning:.....	7
Gödsling, konventionell teknik:.....	7
Gödsling, speciell teknik:.....	8
Transport av gödsel vid gödsling med speciell teknik:.....	9
Skörd:.....	9
Uppbrytning av odlingen:.....	9
Beskrivning gemensamma hjälpmedel.....	10
Frontlastare:.....	10
Stor traktor:.....	10
Liten traktor:.....	10
Vagnar:.....	11
Övriga data för beräkningarna.....	11
Livslängder:.....	11
Bränsleförbrukning:.....	11
Energiinsats, odling av salix.....	12
Resultat, salix för värmeproduktion.....	14
Transport, flis:.....	14
Avkastning av energi:.....	15
Resultat, etanol från salixflis.....	16
Bakgrund:.....	16
Energiinsats:.....	16
Produktion, etanolfabrik:.....	18

RAPSOLJA FÖR ENERGIÄNDAMÅL.....	19
Inledning, rapsolja	19
Uppläggning av kapitlet:	19
Odlingssystem, raps	20
Höstens arbeten:	20
Vår, sommar och höst:	20
Torkning och pressning:	21
Förutsättningar, rapsolja.....	21
Beskrivning av varje moment	21
Stubbearbetning:.....	21
Plöjning:	22
Harvning:.....	22
Sådd:	22
Vältning:.....	22
Gödsling:.....	22
Kemisk bekämpning:	23
Skörd:.....	24
Hemtransport av frö:.....	24
Torkning:.....	24
Pressning:	24
Rening av oljan:	24
Halmpressning:	24
Transport, balar:	25
Hantering balar på fält:	25
Beskrivning gemensamma hjälpmedel	26
Stor traktor:	26
Liten traktor:	26
Frontlastare:.....	27
Övriga data för beräkningarna	27
Livslängder:	27
Bränsleförbrukning:	27
Resultat, kallpressad rapsolja.....	28
Avkastning av energi:.....	30
Resultat, förestrad rapsolja.....	31
Bakgrund:.....	31
Processen:	31
Övriga förutsättningar:.....	32
Avkastning av energi:.....	33

SPANNMÅL FÖR ENERGIÄNDAMÅL.....	34
Inledning, spannmål	34
Uppläggning av kapitlet:	35
Odlingssystem, spannmål	35
Höstens arbeten:.....	36
Vår, sommar och höst:	36
Förbränning:	36
Etanoltillverkning:.....	36
Förutsättningar, spannmål	36
Beskrivning av varje moment.....	37
Stubbearbetning:.....	37
Plöjning:	37
Harvning:.....	37
Sådd:	37
Vältning:.....	37
Gödsling:	38
Kemisk ogräsbekämpning:.....	38
Skörd:.....	39
Hemtransport spannmål:.....	39
Torkning:.....	39
Halmpressning:	39
Transport, balar:	40
Hantering balar på fält:	40
Beskrivning gemensamma hjälpmedel.	40
Stor traktor:	40
Liten traktor:	41
Frontlastare:.....	41
Övriga data för beräkningarna	41
Livslängder:	41
Bränsleförbrukning:	41
Energiinsats vid spannmålsodling.....	42
Förbränning av spannmål	44
Avkastning av energi:.....	45
Etanoltillverkning av spannmål.....	45
Bakgrund:	45
Energiåtgång i processen:	46
Avkastning av energi:.....	47

DISKUSSION.....	48
Bakgrund	48
Intensitet.....	48
Känslighetsanalys.....	49
Salix för värmeändamål:.....	49
Salix för etanoltillverkning:	49
Kallpressad rapsolja:	49
Förestrad rapsolja:.....	49
Spannmål för värmeproduktion:	50
Spannmål för etanoltillverkning:	50
Diskussion av känslighetsanalysen:	50
Utbyteskvot, drivmedel	50
Diskussion, utbyteskvot drivmedel:.....	51
LITTERATURFÖRTECKNING	52
Muntliga referenser.....	54
Ej refererad litteratur.....	54

INLEDNING

Intensiv odling av olika grödor för energiproduktion på åkermark kommer med största sannolikhet att i framtiden vara en viktig del av vår energiförsörjning. Detta beror på att de ändliga energikällorna i form av framför allt fossilt bränsle är just ändliga, samt att förbränningen av dylika måste minska för att komma tillrätta med en stor del av de miljöproblem vi brottas med idag. Dessutom är det troligt att energiodlingen kommer att bidra positivt till sysselsättningen på landsbygden.

De grödor som kan bli aktuella är framför allt energiskog av salix, raps för framställning av olja samt spannmål för etanolproduktion. Även andra grödor kan få stor betydelse, exempelvis energigräs som rörflen. Jag har dock tyvärr varit tvungen att koncentrera mig på de tre försträmnda, då ett examensarbete är begränsat. Jag hoppas kunna ta upp även andra grödor i något annat sammanhang.

De olika grödorna har olika användningsområden. Påverkan på miljön och landskapsbilden varierar liksom intensiteten både energimässigt och ekonomiskt. Med andra ord är det omöjligt att säga att någon av grödorna är bäst på alla sätt. Man måste väga in en mängd faktorer för att i varje enskilt fall välja vilken odlingsform man ska satsa på.

En av de första frågorna man bör ställa sej från samhällets sida är huruvida odlingen är energilönsam, det vill säga om man får tillbaka den energi man satsat i odlingen. I denna bedömning är det viktigt att få med så mycket som möjligt av hela odlingssystemets energibehov.

Detta examensarbete syftar till att belysa energibalansen för ovan nämnda grödor. Naturligtvis gör jag inte anspråk på att komma med några absoluta sanningar, mina resultat är bara giltiga på just de specifika odlingar och med de maskinsystem jag valt. Som en jämförelse mellan de olika grödorna torde dock uppsatsen vara intressant.

Arbetsgången har varit att anta en trolig maskinkedja, ta reda på varje maskins vikt, materialsammansättning (och därmed energiinnehåll per kg), antalet maskintimmar i den valda odlingen för varje maskin, maskinernas livslängd och effektbehov. Med dessa data som grund beräknas hur stor del av maskinens livslängd den används på ett hektar i just denna odling. Detta ger hur mycket energi man satt in i systemet i form av energi bunden i maskiner.

Den andra posten med insatt energi är insatsmedlen; handelsgödsel, bekämpningsmedel, utsäde och sist men inte minst bränsle. Mängderna av insatsmedlen multipliceras med varje insatsmedels specifika energiinnehåll. Energiåtgången för transporter i samband med maskinframställning och gödseltransporter från fabrik är inräknad. Energiinsatsen i byggnader är inte medräknad. Jag antar att byggnaderna är befintliga och alltså inte är en rörlig energikostnad i odlingarna, de skulle med andra ord kosta energi även om ingen odling skulle ske. Energiinsatsen i form av mänskligt arbete är inte medräknad, detta beroende på att det är mycket svårt att bestämma avgränsning. Exempelvis kan det diskuteras om energiåtgången i arbetarens fritidsintressen ska belasta balansen. Allt material är inhämtat genom litteraturstudier och muntliga kontakter.

FÖRUTSÄTTNINGAR

Dessa energibalanser är gjorda på en typodling av respektive gröda, det jag gjort är till att börja med bestämma förutsättningarna för odlingen med avseende på läge, jordart, diverse avstånd och så vidare.

Följande förutsättningar gäller alla tre odlingssystem. De grödspecifika förutsättningarna anges i samband med respektive gröda. Jag har genomgående försökt använda samma maskiner i de olika grödorna, detta för att göra jämförelser mellan dem mer meningsfulla.

Jag förutsätter dessutom att det är en aktiv brukare som driver odlingarna. Han har intresse av att få sysselsättning på gården, detta har varit vägledande vid val av lösning vid vissa moment.

- ▣ Fältstorlek; 10 ha (200*500 m)
- ▣ Avstånd gård-fält; 1 km
- ▣ Avstånd gård-gödselabrik 200 km
- ▣ Gården belägen i Gns (Götalands norra slättbygder)
- ▣ Måttligt mullhaltig mellanlera, P-Al=3, K-Al=3, normalt ogrästillstånd, pH=6,0-6,5
- ▣ Diesel: Densitet 830 kg/m³.
Energiinnehåll 50,3 MJ/kg (Andersson, 1981) Detta värde innefattar förutom bränslevärdet även energi insatt vid produktion, raffinering och transport av oljan.
- ▣ Energiinnehåll gödsel: N 43,2 MJ/kg rent kväve (Bertilsson, 1992)
P 16,0 MJ/kg rent fosfor (Böckman et al, 1991)
K 5,0 MJ/kg rent kalium (Böckman et al, 1991)
I dessa värden ingår transporter, tillverkning och i förekommande fall gruvbrytning.
- ▣ Detta ger följande energiinnehåll för gödselprodukterna:

PK 5 16	1,60 MJ/kg
NPK 18 4 10	8,92 MJ/kg
NPK 16 6 17	7,86 MJ/kg
NPK 20 5 8	9,84 MJ/kg
NPK 20 5 9	9,89 MJ/kg
N 28	12,10 MJ/kg
Kalksalpeter 15.5%	6,70 MJ/kg

- Energiåtgång för lastbilstransport; $2,88 \cdot 10^{-3}$ MJ/kg och km (Andersson, 1981). Häri ingår bränsle, returtransporter, väg- och fordonsslitage samt energi för tillverkning av bilen.
- I maskintider ingår, om ej annat nämns, vändtider, transporter till och från fält med hastigheten 16 km/h samt körtid på fält. Data från Elinder, Falk, (1983) om inget annat nämns. Maskinvikter enligt Kraftsamling, (Lantmännen, 1990) eller telefonkontakt med Svea Lantmän, om inget annat nämns.
- Brukaren har två traktorer, kallade liten respektive stor traktor
- Energiinnehåll bekämpningsmedel; 101,5 MJ/kg (Andersson, 1981).
- För att producera en MJ elenergi åtgår 0,58 MJ (Andersson, 1981). Detta gör att energiinnehållet i en MJ el är 1,58 MJ.

Energiinnehåll i maskiner

Som jag angivit i inledningen beror energiinsatsen i maskiner på tre faktorer; maskinens vikt, "energitätheten" hos maskinen, d.v.s MJ/kg samt hur stor del av maskinens livslängd den används i odlingssystemet.

Energitätheten beror i sin tur på materialsammansättningen, den anges under respektive moment, liksom maskinens vikt.

Hur stor del av maskinens livslängd den används i odlingen beräknas ur maskintimmar per hektar (anges under respektive moment) dividerat med livslängden.

Frågan om maskiners livslängd är mycket svår att hitta något entydigt svar på. Jag har, med visst stöd från Eriksson, 1986, valt att använda tumregeln när det gäller jordbruksmaskiners livslängd;

Traktorer 10000 h, fältmaskiner 1000 h. Med fältmaskiner menar jag jordbearbetningsmaskiner, så- och planteringsmaskiner, spruta, gödselspridare, vagnar, frontlastare och halmpress. Undantag från nämnda livslängder finns givetvis, dessa nämns i anslutning till respektive gröda.

Ett tillägg på 10% på maskinenergin görs för att täcka reparationer och underhåll. Även smörjolja ingår i denna post.

ENERGISKOG AV SALIX

Inledning, salix

Intensiv odling av olika salixarter på åkermark är en odlingsform som avkastar stor mängd torrsubstans per hektar. Odlingen kräver vissa specialmaskiner och produkten man får, flis, är skrymmande och svårhanterlig. Arbetsinsatsen per hektar är mindre än för konventionellt jordbruk. Man skördar med tre till fem års intervall, sex till åtta gånger, utan att plantera om. Odlingstekniken är tämligen väl utvecklad och energiskogen bedöms i dagsläget vara ekonomiskt konkurrenskraftig jämfört med spannmålsodling. Salix kräver relativt lång vegetationsperiod och är känslig för vårfröst och kan därför ej odlas i Norrland. Vidare trivs energiskogen bäst på vattenhållande jordar. Några fördelar med salixodlingen som nämns är minskat läckage av närsalter då marken är ständigt bevuxen, att multhalten ökar samt att vissa fågelarter, markfaunan och fältviltet gynnas, (Sennerby-Forsse & Johansson, 1989).

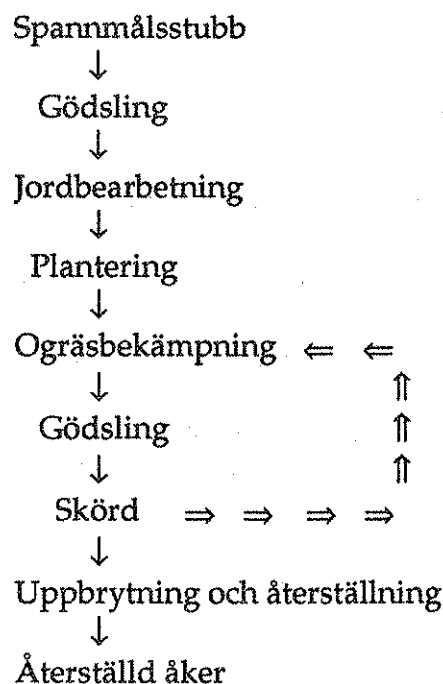
Nackdelar är att täckdikningen troligtvis tar skada av rötterna, fältfloran utarmas samt att landskapsbilden i vissa fall förändras drastiskt, energiskogen är cirka sex meter hög vid skörd, (Sennerby-Forsse & Johansson, 1989). Flisen används främst som fastbränsle men kan även användas för framställning av etanol, detta behandlas i slutet på kapitlet.

Odlingssystem, salix

Beräkningarna på salixodlingen sker under ett omlopp som består av sex omdrev (tid mellan två skördar). Varje omdrev är fyra växtsäsonger långt utom det första där etableringsåret läggs till. Detta sammantaget innebär att omloppet är 25 växtsäsonger långt. Systemet för energiskogsodling påbörjas med spannmålsstubb, avslutas med en återställd åker, redo att harvas och sås med valfri gröda exempelvis spannmål, eller planteras med ny energiskog.

Vissa moment i odlingen utförs med specialmaskiner som ägs och i vissa fall körs av en entreprenör, maskinring eller dylikt. Dessa maskiner transporteras mellan salixodlande gårdar antingen med egen traktor; planteringsmaskinen och den för salix speciella gödslingsutrustningen, eller lastbil; skördaren. Avståndet för dessa transporter är 25 km, det låter långt men även om gårdarna ligger tätare är det inte troligt att turordningen gör att maskinen transporteras till närmsta gård jämt.

Flisen används rå i ett mindre värmeverk som ligger nära gården, bara 20 km. Ett alternativ är att torka flisen, det är ganska arbets- och energikrävande och kräver dessutom en torkanläggning. Ett annat alternativ är att skörda skotten hela under vintern, lagra dem i vält under sommaren och därefter flisa dem under vintern därpå. Detta förfarande sänker fukthalten till cirka 30%. Nackdelen med detta är att arbetsbehovet ökar samt att brukaren förskjuter sina inkomster upp till ett år framåt i tiden.



Omdrev ett:

Hösten innan plantering stubbearbetas fältet tre gånger för att bekämpa rotagräsen, främst kvickrot. Just kvickrot är ett av de största hoten mot nyanlagda salixodlingar. Förrådsgödsling med 500 kg/ha PK 5 16 (Sennerby-Forsse & Johansson, 1989), denna förrådsgödsling kan i princip göras när som helst i omloppet, av ekonomiska skäl görs den kanske senare men energimässigt gör det ingen skillnad. Därefter plöjning och en harvning.

På våren harvas fältet strax före planteringen av sticklingarna.

Under första sommaren måste man bekämpa ogräsen noggrant, sex körningar med en ogräsharv krävs (Danfors, 1991, Hallén & Nord, 1991).

Sommar två, tre, fyra och fem gödglas med 215 kg/ha och år med N 28, (Sjösvärd, 1993) denna gödsling görs med specialteknik, så kallad högspridning. Gödslingen under etableringsåret görs med en konventionell centrifugalspridare.

Vintern efter femte sommaren sker skörden och därmed är omdrev ett slut.

Omdrev två till sex:

Sommaren efter skörd måste man köra en gång med ogräsharven för att hålla tillbaka ogräsen. Dessutom måste man fylla på förråden av fosfor och kalium. Detta görs med 430 kg/ha med NPK 14 6 17 (Sennerby-Forsse & Johansson, 1989), konventionell teknik kan användas. De följande tre somrarna gödglas man med 215 kg/ha och år med N 28, (Sjösvärd, 1993), här måste dock specialteknik användas. Vintern efter fjärde växtsäsongen skördas odlingen igen och så vidare.

Efter sista skörden plöjs fältet med vanlig plog. Stubbarna strängläggs med en något modifierad stubbkultivator och körs iväg med traktor och vagn till upplag.

Stubbarna är för jordbemängda och svårhanterliga för att kunna användas till bränsle.

Förutsättningar, salix

- ▣ Avstånd gård-värmeverk; 20 km
- ▣ Transportavstånd för specialmaskiner mellan gårdar; 25 km
- ▣ Densitet råflis; 370 kg/m³s vid 50% fukt. (Databok för driftplanering, 1989)
- ▣ Effektivt värmevärde för råflis; 8,1 MJ/kg vid 50% fukt (Mörtstedt & Hellsten, 1987)
- ▣ Jag antar att det är en aktiv lantbrukare som har odlingen, detta innebär att han vill använda egna maskiner i mesta möjliga mån, exempelvis sker transporten av flis med traktor istället för lastbil.
- ▣ Skörd; 10 ton torrsubstans/ha och år, detta innebär 40 ton TS/ha och skörd. Under första omdrevet är dock skörden 30 ton TS/ha, (Sjösvärd, 1993).
- ▣ Jag har valt att räkna på mekanisk ogräsbekämpning, ej kemisk.
- ▣ Askan återförs inte till marken, tungmetallinnehållet är ofta för högt enligt Naturvårdsverket.
- ▣ Energiinnehåll sticklingar, 16,2 MJ/kg, d.v.s dubbelt så mycket som flisen, detta p.g.a att sticklingarna måste hanteras och transporteras.

Beskrivning av varje moment

Stubbearbetning:

För att bekämpa rotagräsen stubbearbetas fältet hösten före plantering tre gånger med ett tungt tallriksredskap, Väderstad XT. Arbetshastighet 6 km/h, arbetsbredd 4,2 m, effektbehov 90-100 kW. Detta innebär cirka 85% belastning för den stora traktorn. Traktor- och maskintid för dessa tre körningar är 1,80 h/ha. Redskapet väger 2900 kg och bedöms bestå till 100% av stål.

Plöjning:

Plöjningen utförs med en Överum DTL 698H, en sexskärig delburen plog. Tiltbredd 35,6 cm (14") vilket ger arbetsbredden 2,13 m. Arbetshastighet 5 km/h, effektbehov 90-100 kW, cirka 85% belastning för den stora traktorn. Maskintid för traktor och plog är 1,70 h/ha. Plogen väger 1600 kg och består till 100% av stål.

Harvning:

Efter plöjningen på hösten görs en harvning, på våren efter gödselspridning men innan planteringen sker den andra körningen. Harven är en nio meters Väderstad NZE. Arbets hastighet 6 km/h, effektbehov 90-100 kW, vilket motsvarar 85% belastning på den stora traktorn. Traktor- och maskintid för dessa två harvningar är 0,53 h/ha. Vikten är 3100 kg och materialet är 100% stål.

Plantering:

När det gäller planteringsmaskiner finns det många olika principer. Jag har valt en relativt avancerad maskin från Wilstrands svets och mekaniska AB i Hedemora som heter Hedemora Step. Den är 4-radig och betjänas av två man, en traktorförare och en på maskinen. Maskinen arbetar med hela vidjor som matas fram och kapas efterhand som planteringen fortskrider. Detta gör att planteringskostnaden minskar då det inte krävs så mycket arbetskraft. Kapaciteten är 1,8 h/ha, (Danfors, 1992). Effektbehovet är 25 kW, maskinen väger 1120 kg och består av 100% stål. (Wilstrands svets och mekaniska, 1993). Detta ger en belastning för den lilla traktorn på cirka 45%.

Planteringsmaskinen antas ingå i en maskinring eller motsvarande och därmed användas på fler gårdar. Medelavståndet mellan dessa gårdar är 25 km och transporten sker med traktor, hastighet 20 km/h, maskintid för transporten blir 0,12 h/ha och omlopp (en transport per 10 ha odling).

Mekanisk ogräsbekämpning:

Med denna rubrik avses den ogräsbekämpning som görs i växande gröda. Denna insats görs med en ogräsharv, Wibergs OG 362 S, som väger 860 kg, 100% stål och kräver en traktoreffekt på 30 kW, (Wibergs, 1993). Detta svarar mot cirka 60% belastning på lilla traktorn. Arbetsbredden är 6,2 meter, arbets hastigheten 9 km/h. Detta ger en maskintid på 0,25 h/ha och körning.

Bekämpningen måste utföras sex gånger sommaren efter plantering, i detta skede är energiskogen känslig för konkurrens. När beståndet etablerat sej konkurrerar salixen ut ogräset själv. Sommaren efter varje skörd är det också lämpligt att göra två bekämpningar för att inte ge ogräset chansen. Detta sammantaget innebär att det blir 16 körningar per omlopp och därmed 4,0 h/ha och omlopp.

Gödsling, konventionell teknik:

När Salixen är antingen nyplanterad eller nyskördad kan gödslingen utföras med konventionell teknik. I detta fall används en centrifugalspridare, Bogballe SST 1200, vikt 625 kg, består till 100% av stål. Den kräver en effekt på 40 kW under spridning vilket innebär ett effektuttag på den lilla traktorn motsvarande cirka 65%. Lassvikt 1200 kg, arbets hastighet 7 km/h, arbetsbredd 12 m. Lastning sker från storsäck och med en frontlastare. Effektbehovet under lastning och transport är 30 kW, motsvarande 42% effektuttag på den lilla traktorn. Arbetsbehovet varierar med mängd gödsel som sprids, se tabell 1.

Tabell 1, Maskintid för gödselspridning vid olika gödselgivor, (Databok för driftplanering, 1989):

Tidpunkt för gödsling	Antal spridn. /omlopp	Maskintid lastare/omlopp	Maskintid spridare och traktor/omlopp
Förrådsgödsling, hösten före plantering 500 kg/ha	1	0,04	0,343
Alla somrar efter skörd. 430 kg/ha	5	0,185	1,618
	Summa lastare	0,22 h/ha	
	Summa traktor och spridare		1,96 h/ha

Gödsling, speciell teknik:

Gödsling i energiskog som har vuxit en sommar kan inte utföras med konventionell gödselspridningsteknik utan här måste man välja någon metod speciellt framtagen för spridning i högväxande gröda. Liksom när det gäller plantering finns det flera olika skolor inom detta område, allt från manuell spridning till helikopterdito. Den metod jag valt är så kallad höggödsling. Detta innebär att maskinen fördelar gödseln över salixbeståndet, vilket innebär att man kan arbeta med stora arbetsbredder.

Den maskin jag valt är en spridare som Plönninge lantbruksskola tagit fram. den bygger på en konventionell, buren handelsgödselspridare, en Bogballe. Spridaren har en fläkt som transporterar gödseln upp genom ett rör, som har två fasta höjder för olika höjd på grödan. Därefter fördelas gödseln i sidled av en pendelspridare. Spridningsbredden uppges vara 36 m, med överlappning fås en effektiv arbetsbredd på 18 m.

Lastkapaciteten är 600 kg, vikten 350 kg helt byggd i stål. Maskintid 0,30 h/ha och körning, effektbehov 40 kW, (Bågenholm, 1992), vilket motsvarar 77% belastning på lilla traktorn. Då antalet körningar per omlopp är 19 stycken fås en slutlig maskintid av 5,7 h/ha.

Transporten av gödsel sker med traktor och vagn, se separat rubrik.

Transporten mellan gårdar sker på samma sätt som för planteringsmaskinen, vilket innebär 0,12 h/ha och körning. Då vi har 19 körningar fås en slutlig maskintid på 2,28 h/ha.

På grund av den stora arbetsbredden fås vid varje vändning ett spill på 30 kg, (Danfors, 1989). Med antagen fältform (200*500 m) blir det 12 vändningar på de tio hektaren, det vill säga $12 \cdot 30 = 360$ kg N 28 per spridning, totalt för de 18 spridningarna erhålls 6480 kg/10 ha. Analysen ska alltså belastas med 648 kg N 28 extra per hektar.

Transport av gödsel vid gödsling med speciell teknik:

Denna transport sker med liten traktor och en vagn, Gisebo 2120 S, vagnen beskrivs under gemensamma hjälpmedel. Lastning av vagnen sker med frontlastare, storsäckshantering. Lastning 0,028 h/ha och körning, transport 0,017 h/ha och körning. Fyllning av spridaren på fält görs med frontlastaren, maskintid 0,05 h/ha och körning. Totala maskintiden för lilla traktorn och vagnen blir 1,71 h/ha. Lastaren får 1,40 h/ha och omlopp. Effektbehov 30 kW.

Skörd:

I fråga om skördeteknik finns en tydlig vattendelare, nämligen om salixen ska flisas direkt eller om skotten ska skördas hela för att flisas i ett senare skede alternativt eldas hela. Båda principerna har sina fördelar, jag har valt direkthflisning, det är den metod som idag ger lägst kostnad per MJ i större odlingar. Problemet med direkthflisning är att man inte kan lagra flisen mer än några veckor, därefter börjar flisen mögla med hälsofaror, substansförluster och självantändningsrisk som följd. Detta ställer stora krav på samarbete och planering mellan odlare och förbrukare. Det borde dock gå att lösa, sockerkampanjerna i södra Sverige visar att det är genomförbart.

Den maskin jag valt är en ombyggd Claas Jaguar majshack. Den har provats av Jordbrukstekniska institutet med lovande resultat. Maskinen väger nio ton och består till 50% av stål och 50% av järn och livslängden är 4600 h. Effekten är 260 kW (Danfors & Nordén, 1992).

När det gäller kapaciteten är uppgifterna något osäkra. Danfors och Nordén (1992) anger 25 ton råflis/h, dessa siffror härrör från ett antal praktiska försök.

Förutsättningarna var dock i de fallen betydligt mer ogynnsamma än i vårt fall, dessutom var maskinen ej färdigutvecklad. Senare, ej publicerade försök utförda i Tyskland av Claas visar att kapaciteten kan uppgå till 70 ton råflis/h, (Eriksson, 1993). Ett rimligt antagande om verklig kapacitet i fält kan vara 50 ton råflis/h. Då vi har 10 ton TS/år, fyra års tillväxt och 50% fukt motsvarar det 1,6 h/ha och skörd, de fem sista skördarna. Första skörden, 60 ton råflis/ha kräver 1,2 h/ha. Sammanlagt får man en maskintid på 9,2 h/ha och omlopp. Bränsleförbrukningen beräknas som följer; 70% belastning i genomsnitt ger 182 kWh/h. Antag 0,28 kg diesel/kWh ger slutligen 51 kg/h.

Uppbrytning av odlingen:

Efter sjätte skörden bryts odlingen upp. Detta på grund av bland annat att avkastningen börjar minska, att stubbarna börjar bli så höga att det är svårt att skörda, nya sorter av Salix har kommit eller för att bonden vill odla något annat. Uppbrytningen görs med vanlig plog, detta moment räknar jag inte in i analysen då balansen redan belastas av plöjningen som gjordes före planteringen. Det som däremot måste räknas in är strängläggning, lastning och borttransport av stubbarna. Strängläggning görs med en stubbkultivator, Väderstad SK 10, som har ändrats så att alla pinnar sitter på den bakre axeln. Vikt 750 kg, 100% stål. Effektbehov 40 kW, vilket är cirka 75% av maxeffekten på lilla traktorn. Maskintid 3h/ha (Åkermo, 1990).

Maskintiden är baserad på ett litet försök men används ändå, då jag inte hittat något annat samt att tidsåtgången verkar rimlig. Lastning och borttransport sker med frontlastare och en av vagnarna. Avstånd till upplaget är 0,8 km.

Maskintid för lastning är 4 h/ha och transporten 2 h/ha (Åkermo, 1990).
Effektbehov 30 kW, motsvarande cirka 50% av maxeffekten. Total maskintid för lilla traktorn är 9 h/ha, för lastaren 4 h/ha och för vagnen 6 h/ha.

Beskrivning gemensamma hjälpmedel

Frontlastare:

Vid flera moment krävs en frontlastare, jag har valt en Trima 1420, den är avsedd för traktorer med 43 till 57 kW. Detta gör den lämplig för Massey Ferguson 3060. Den har följande kapacitet; Nyttolast fullhöjd 1325 kg, nyttolast 2 m lyfthöjd 1400 kg. Detta gör att den klarar de jobb som förekommer i salixodlingen. Lastaren väger 560 kg och består till 100% av stål.

Stor traktor:

Som traktor för de tyngre arbetena har jag valt en Case IH 7120 Magnum. Kraftuttagseffekten är 116 kW, vikt 7044 kg utan vätskor (Statens maskinprovningar, medd. 3254, 1990). Den antas bestå av 50% stål och 50% järn. Bränsleförbrukning, se tabell 2.

Tabell 2: Bränsleförbrukning för Case IH 7120 Magnum (Statens maskinprovningar, medd. 3254, 1990).

Belastning, % av max PTO-effekt	Bränsleförbrukning, kg/kWh	Bränsleförbrukning, kg/h
85	0,257	25,2
64	0,277	20,8
42	0,323	16,4
21	0,477	12,3
0		8,2

Liten traktor:

För de lättare arbetena har jag valt en Massey Ferguson 3060 4WD. Kraftuttagseffekten är 52 kW och vikten 3845 kg utan vätskor (Statens maskinprovningar, medd 3163, 1988). Den antas bestå till 50% av stål, 50% av järn. Bränsleförbrukningen anges i tabell 3.

Tabell 3: Bränsleförbrukning för Massey Ferguson 3060 4WD (Statens maskinprovningar, medd 3163 1988).

Belastning, % av PTO-effekt.	Bränsleförbrukning, kg/kWh	Bränsleförbrukning, kg/h
85	0,277	12,4
64	0,299	10,1
42	0,354	7,9
21	0,526	6,0
0		4,3

Vagnar:

Vagnar används vid transport av gödsel vid skyttelgödsling, stubbtransport efter uppbrytning men framför allt vid flistransporten. Jag har valt två stycken Gisebovagnar, 2120 S och 2122 S. De är likvärdiga, skillnaden är att den ena är lämpligare att ha som andravagn i ett vagntåg. Med en höjning av lämmarna har de en lastkapacitet på 24 m³ var. De väger 3400 kg styck och består till 90% av stål och 10% av trä.

Övriga data för beräkningarna

Livslängder:

Som angivits i de allmänna förutsättningarna är livslängden för traktorer 10 000 timmar och för fältmaskiner 1000 timmar.

Några undantag finns givetvis, skördaren har en angiven livslängd på 4600 h (Danfors & Nordén 1992). Frontlastaren antas ha en livslängd på 1000 h, då räknas inte tiden traktorn har lastaren monterad utan den tid då lastaren verkligen används. När det gäller vagnarna är det normalt inte antalet timmar som är avgörande utan åldern, vagnarna står och "rostar bort". I denna typodling har jag antagit ett ganska intensivt nyttjande av vagnarna tack vare maskinsamarbetet vid flistransporten. Detta gör att livslängden kan antas förlängas till 5000 h.

Bränsleförbrukning:

Under varje beskrivet moment anges ett effektbehov och procentuell belastning på aktuell traktor. I tabellerna ovan anges bränsleförbrukningen i kg diesel/kWh. Jag har interpolerat i tabellerna för att erhålla bränsleförbrukningen vid respektive effektuttag. När det gäller skördaren har jag antagit en bränsleförbrukning på 0,28 kg diesel/kWh då uppgifterna varierade kraftigt.

Energiinsats, odling av salix

Tabell 4: Maskininsats, salix:

Operation	Effekt-behov, kW	Bränsleför- brukning kg/h	Maskin- tid, h/ha			Bränsle kg/ha och omlopp
			Traktor stor	Traktor liten	Övriga maskiner	
Stubbear- betning	90-110	25,2	1,8			45,4
Plöjning	90-110	25,2	1,7			42,8
Harvning	90-110	25,2	0,53			13,4
Plantering	25	7,9		1,8		14,2
Trp, planter- ingsmaskin	20-25	7,9		0,12		1,0
Mekanisk ogräsbek.	30	9,5		4,0		38,0
Gödsling, konventionell	40	11,5		1,96		22,5
Gödsling, special	40	11,5		5,70		65,6
Trp, spridare	20-25	7,9		2,28		18,0
Lastning och trp, gödsel.	30	9,5		1,71		16,2
Skörd	182	51,0			9,2 (till tab.5)	469,2
Stränglägg- stubb	40	11,5		3,0		34,5
Lastning och trp, stubbar	30	9,5		6,0		57,0
Summor:			4,03 (tab.5)	26,57 (tab.5)		837,8 (tab.6)

Tabell 5: Energiinsats i maskiner:

Maskin	Maskintid h/ha	Vikt, kg	Livslängd, timmar	Energitäthet MJ/kg	Energiinsats, MJ/ha
Tallriksharv, Väderstad XT	1,8	2900	1000	111	580
Plog, Överum, DTL 698H	1,7	1600	1000	111	302
Harv, Väderstad NZE	0,53	3100	1000	111	183
Planteringsmaskin	1,8	1120	1000	111	224
Ogräsharv, Wibergs OG 362 S	4,0	860	1000	111	382
Gödsling, konv. Bogballe SST 1200	1,96	625	1000	111	136
Gödsling, spec. Plönningsmaskinen	5,7	350	1000	111	221
Skörd, Claas Jaguar	9,20	9000	4600	76	1 368
Stubbkultivator, Väderstad SK10	3,0	750	1000	111	250
Transporter, Gisebo 2120S	2,6	3400	5000	101	179
Frontlastare, Trima 1420	5,62	560	2500	111	140
Traktor, Stor, Case IH 7120	4,03	7044	10000	76	216
Traktor, liten, MF 3060 4WD	26,57	3845	10000	76	776
				Summa:	4 957
				Underhåll: 10%	496
				Totalt (till tab.6)	5 453

Tabell 6: Total energiinsats i ett energiskogsomlopp:

Insatsmedel eller motsvarande	Mängd kg/ha	Energiinhåll MJ/kg	Energiinsats, MJ/ha
Sticklingar	250	16,2	4 050
Diesel	837,8	50,3	42 142
PK 5 16	500	1,60	800
NPK 14 6 17	2150	7,86	16 899
N 28	4769	12,10	57 705
Transport, gödsel	7419	0,58	4 303
Transport, skördare	9000	0,072	648
Maskinenergi			5 453
Summa:			132 000

Resultat, salix för värmeproduktion:

Det som tillkommer här är en transport från gården till värmeverket, 20 km bort.

Transport, flis:

Transporten av flis till värmeverk sker med traktor. Enligt Axenbom och Kristensson, 1991, är det lönsamt för bonden att sköta leveranserna själv om avståndet understiger 30 km

Vissa värmeverk kanske inte tillåter att flisen levereras med traktor och vagn men å andra sidan kommer troligtvis detta leveranssätt att vara vanligt när lantbrukarna själva sköter eldningen eller vid mindre värmeverk.

Då skördaren har en kapacitet som vida överstiger kapaciteten hos ett traktor-vagn ekipage förutsätter jag att man i detta moment praktiserar ett samarbete odlare emellan. Detta gör att man får betald användning för sina maskiner samt sysselsättning på gården. Det krävs sju ekipage av nedan beskrivna typ för att hinna med att transportera bort det som skördaren skördar. Beräkningsmässigt har jag räknat som om ett ekipage gjort allt jobb själv, resultatet blir detsamma då en traktor som kör sju timmar "kostar" lika mycket energi som sju traktorer som kör en timme var.

Beräkningen är gjord på ett vagntåg bestående av två vagnar som med en höjning av lämmarna lastar 51 m³, alltså 19 ton flis. Med transporthastighet 20 km/h, 30 minuters tillägg per runda för lossning, raster o.s.v samt att traktorn går bredvid skördaren för lastning under gång i 23 minuter får man en total tid per runda på 2 timmar 53 minuter (2,88 h/runda).

Då jag antagit en årlig tillväxt av 10 ton TS/ha, fyra års tillväxt mellan skördarna och en fukthalt på 50% blir skörden på tio hektar 800 ton råflis/skörd, första skörden 600 ton råflis/10 ha. Vagnarna lastar 19 ton, detta ger 43 vändor a' 2,88 timmar d.v.s 123,8 timmar/10 ha, alltså 12,4 h/ha vid de fem sista skördarna. Den första skörden, 600 ton/10 ha ger 32 vändor a' 2,88 timmar d.v.s 92,2 h/10 ha, alltså 9,2 h/ha. Ovanstående ger en total maskintid för stora traktorn och vagnarna på 71,2 h/ha. Effektbehovet med fullt lass är cirka 55 kW vilket motsvarar 43% av maxeffekten, tid en timme per runda. Vid återtransporten och under tiden ekipaget går bredvid traktorn för lastning är effektbehovet cirka 25 kW. Tiden med den belastningen är 1,38 timme per runda. En halvtimme per runda går åt till lossning, raster och dylikt. Under denna tid är effektbehovet 0 kW, med andra ord går traktorn på tomgång. Den vägda medeleffekten blir 30 kW vilket motsvarar en belastning på stora traktorn på 26%.

Tabell 7: Energiinsats, salix för värmeproduktion:

Insats	MJ/ha
Total energiinsats för odling enl. tabell 6	132 000
Diesel, (71,2 h*13,0 kg/h*50,3 MJ/kg)	46 558
Maskinenergi, vagnarna (71,2 h*3400 kg* 2 vagnar*101 MJ/kg/5000h)	9 780
Maskinenergi, traktor, (71,2 h*7044 kg* 76 MJ/kg/10000h)	3 812
Tillägg 10% på maskinenergin, för slitage och smörjmedel (10% av 9780+3812)	1 359
Summa:	193 509

Avkastning av energi:

Enligt de antagna förutsättningarna avkastar energiskogsodlingen 230 ton TS/ha och omlopp. Då fukthalten är 50% och det effektiva värmevärdet i råflisen är 8,1 MJ/kg råflis fås en "energiskörd" av 3 726 000 MJ/ha och omlopp. Om man väger detta mot den totala energiinsatsen enligt tabell 7 fås en kvot som är 19,3. Med andra ord; för varje MJ som sätts in i odlingen får man tillbaka 19,3.

Det som måste beaktas när det gäller avkastningen är att torrsubstansskörden kan variera kraftigt, både uppåt och neråt. Stora delar av en odlingen kan helt slås ut eller hämmas kraftigt av vilt som älg eller skadedjur som sork. Energiinsatsen däremot ändras inte så radikalt, det är transporten av flis som kan vara betydligt längre. Dessutom kommer energiinsatsen för alla fältarbeten att öka om fältformen är mindre gynnsam än den här antagna.

Resultat, etanol från salixflis

Bakgrund:

I det ovan nämnda förutsätts att flisen går till ett mindre värmeverk som ligger nära odlingen. Flisen förbränns för produktion av värme.

Ett annat, mycket intressant användningsområde för energiskogsflis är framställning av etanol för drivmedelsbruk. Transportsektorn är en stor förbrukare av fossilt bränsle och att ersätta dessa drivmedel borde ha hög prioritet. Etanol anses av flera bedömare som ett av de mest lovande alternativen.

Tekniken att framställa etanol ur lignocellulosahaltiga material är väl känd och en demonstrationsanläggning planeras i Örnsköldsvikstrakten. Anläggningen är främst avsedd för råvara från skogsbruket men samma teknik är tillämpbar för Salixflis.

Vid etanolframställning jäses socker till etanol och koldioxid. Tekniken är väl känd, redan i förhistorisk tid har människor framställt etanol. Det som skiljer tekniken för lignocellulosabaserad produktion är att cellulosan och hemicellulosan måste omvandlas till socker först. Därefter sker jäsningen på traditionellt sätt. Denna omvandling kan göras på olika sätt, den metod som kommer att användas i anläggningen i Örnsköldsvik kallas tvåstegs svagsyrahydrolys. Detta innebär att flisen behandlas med svaga syror vid hög temperatur i två steg. Andra metoder är enstegs starksyrahydrolys och enzymatisk hydrolys, dessa behandlas inte i detta arbete.

Det man sätter in i processen är flis, el och ånga. Ut kommer etanol, koldioxid, lignin som är den ej jäsbara biprodukten samt metan från avloppsvattenhanteringen. Ligninet kan användas som bränsle i pulverpannor och har en specifik energi som är 22,3 MJ/kg. Metan kan användas inom processen för produktion av ånga. (Regestad, 1993).

Energiinsats:

Det som skiljer energiinsatsen i odlingen jämfört med föregående beräkning är främst transporten, som nämnts kan rena värmeverk vara ganska små och ändå ekonomiska. När det gäller etanolfabriker av den här typen är den optimala storleken mycket större. Enligt Regestad (1993) så är det maximala transportavståndet för flis till etanolfabrik 150 km. Jag har räknat med ett avstånd från gården till fabriken på 75 km. Avståndet från fabriken till användarna av etanol och ligninpulvret är 30 km. Detta beroende på att etanolfabriken med fördel etableras nära andra industrier av diverse skäl.

Alla transporter görs med lastbil, energiåtgång enligt allmänna förutsättningar. För varje MJ i flis som går in i processen åtgår det 0,29 MJ i ånga och 0,047 i el, (Regestad, 1993). Omräknat till energiinsats per hektar motsvarar det 1 080 540 MJ ånga och 175 122 MJ el. Energiinnehållet i en MJ el är 1,58 MJ, se allmänna förutsättningarna. Energiinnehållet i en MJ ånga anges nedan. Då ångan tillverkas av metan och lignin, som fås som biprodukter måste först energiinnehållet i flisen (det vill säga energiinsatsen i odlingen plus effektiva värmevärdet) MJ/MJ beräknas (analogt med energiinnehållet i diesel och el), därefter kan energiutbytet i ångprocessen beräknas.

- ▣ Energiinsats per hektar i energiskogsodlingen enligt tabell 6: 132 000 MJ
- ▣ Effektivt värmevärde i flisen från ett hektar: 3 726 000 MJ
- ▣ Transport flis, 460 ton, 75 km a' 2,88*10⁻³ MJ/kg och km: 99 360 MJ
- ▣ Total energiinsats i form av flis i etanolprocessen: 3 957 360 MJ
- ▣ Utbyte av energi i etanolprocessen: 3 502 440 MJ
- ▣ Verkningsgrad i etanolprocessen: 0,886
(Utbyte/insats av energi)

Detta säger att förlusten av energi i etanolprocessen (och därmed lignin- och metantillverkningen) är 11,4%.

Energiförlusten i ångtillverkning är 11,5% enligt Fors & Nord, 1990.

Detta ger en total verkningsgrad för framställning av ånga av produkter ur etanolprocessen; 88,6% av 88,5% = 78,4%.

Omräknat i energiinnehåll per MJ ånga blir detta 1,28 MJ/MJ.

Energiåtgången för uppförande och underhåll av anläggningen kan uppskattas till 0,4% av årlig energiinsats inklusive energi i flis, vid 25 års avskrivningstid (Fors & Nygaard, 1984). Siffran gäller cement- respektive aluminiumfabrik som båda är energiintensiva industrier så antagandet att etanolprocessen har samma procentsats är troligen en underskattning.

Mängderna som produceras av de olika produkterna är:

Etanol 32 ton/ha och lignin 87 ton/ha, beräknat utifrån energiinnehåll per kg och energimängd per hektar och produkt.

Tabell 8: Energiinsats för etanol från Salixflis:

Text	Energiinsats
Energiinsats för odling enligt tabell 6	132 000
Ånga i processen, 1 080 540 MJ a' 1,28 MJ/MJ:	1 383 091
El i processen, 175 122 MJ a' 1,58 MJ/MJ:	276 693
Transport flis, 460 ton, 75 km.	99 360
Energiinsats för byggande och underhåll, 0,4% av ovanstående plus 0,4% av effektiva värmevärdet i flisen (3 726 000 MJ):	22 469
Transport etanol och lignin, 119 ton, 30 km a' $2,88 \cdot 10^{-3}$ MJ/kg och km:	10 282
Summa energiinsats:	1 933 895

Produktion, etanolfabrik:

Tabell 9: Utbyte av flis i etanolfabrik: (Regestad, 1993).

Bränslevärde i flisen	Energi i etanol	Energi i metan	Energi i lignin	Totalt utbyte av energi
1	0,25	0,17	0,52	0,94
3 726 000MJ (Ett ha)	931 500 MJ	633 420 MJ	1 937 520 MJ	3 502 440 MJ

Om vi nu jämför energiinsatsen enligt tabell 8 och utbytet i tabell 9 fås följande kvot; 1,82 gånger insatsen.

RAPSOLJA FÖR ENERGIÄNDAMÅL

Inledning, rapsolja

Odling av raps för energiändamål har aktualiserats under senare år i samband med överskottsproblematiken inom jordbruket. Praktiskt skiljer sej odlingen inte från konventionell oljeväxtodling, det är först efter skörden som skillnader uppträder. Det som då görs är att oljan kallpressas i en småskalig anläggning på gårdsnivå, därefter renas den med filtrering eller sedimentering i flera steg. Det är den sistnämnda metoden av rening som jag har räknat på, den är enklast och kräver minst investering. Det ena sättet att använda oljan efter rening är direkt i dieselmotorer anpassade till kallpressad rapsolja, mest känd är den så kallade Elsbettmotorn. Kallpressad rapsolja kan även användas i oljepannor med speciella munstycken.

Det andra sättet är att behandla oljan, så att den kan användas i konventionella dieselmotorer. Denna behandling kallas förestring och sker på centrala anläggningar, alltså inte på gårdsnivå.

Även andra oljerika växter kan komma ifråga, i Sverige främst rybs och eventuellt vitsenap. Av praktiska skäl använder jag dock i fortsättningen beteckningen rapsolja. Den typodling jag räknat på är dessutom en odling av höstraps.

Fördelarna med rapsodling för energiändamål är att odlingstekniken är väl utvecklad, inga större investeringar behöver göras, på många gårdar med ensidig spannmålsodling är ett avbrott i växtföljden positivt. Det är dessutom mycket lätt att återgå till livsmedelsproduktion.

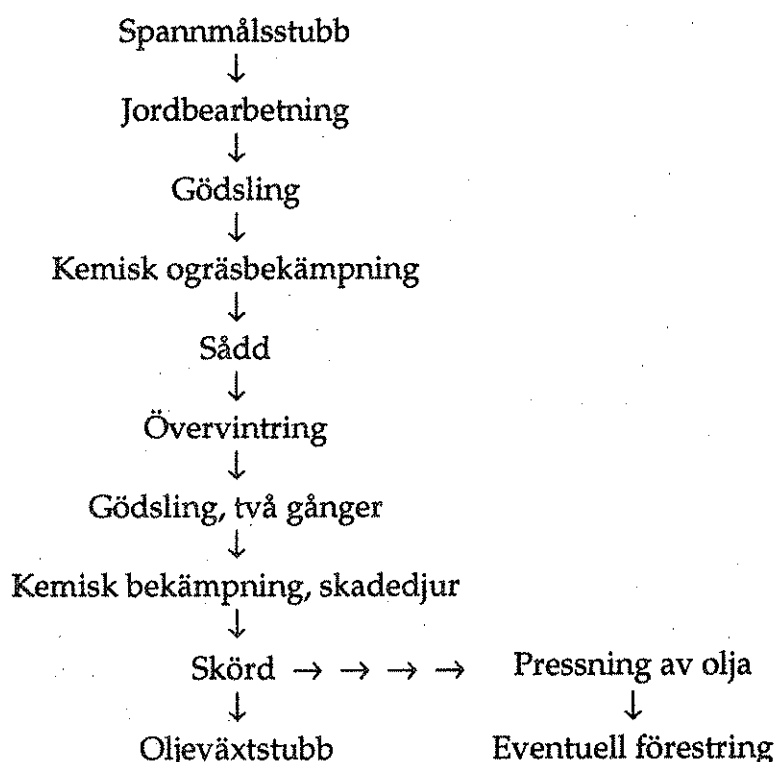
Nackdelarna är att odling av raps är begränsad till de södra delarna av landet, ökad odling av raps innebär sannolikt ökad användning av kemiska bekämpningsmedel. Ekonomin för rapsoljeproduktion är beroende av att biprodukten, rapskakan, betingar ett tillräckligt högt pris. Något man också måste tänka på är att den areal som kan komma ifråga är begränsad av växtföljdsrestriktioner. Man kan bara odla raps på 20-25% av arealen om man vill undvika problem. Detta innebär att den mängd rapsolja som kan produceras i Sverige är ganska begränsad. Som jämförelse kan nämnas att cirka 15% av åkerarealen skulle behövas för att förse jordbruket med bränsle i form av rapsolja, (Andersson, 1990).

Uppläggning av kapitlet:

I den första delen av kapitlet gör jag en energibalans för kallpressad rapsolja för användning i Elsbettmotorer. Därefter bygger jag på beräkningarna med den övriga energinsats som krävs för förestring.

Odlingssystem, raps

Beräkningarna på rapsodlingen sker under ett år. Systemet börjar med spannmålsstubb på hösten och sträcker sej över nästa vår och sommar till skörden och avslutas med oljeväxtstubb. I odlingen används kemisk bekämpning av ogräs och skadedjur. I denna del av Sverige utvintrar i genomsnitt 20% av höstrapsarealen varje år (Databok för driftplanering, 1989), till detta tas hänsyn i analysen. Den kallpressade oljan har ett energivärde som är 37,6 MJ/kg, (Norén, 1991) Presskakan som fås som biprodukt vid pressningen används som foder och har ett energiinnehåll som är 21,0 MJ/kg, (Norén, 1990)



Höstens arbeten:

På hösten före sådd stubbearbetas fältet två gånger för att bekämpa rotoogräs och för att bruka ner halmrester. Därefter plöjning. Harvning görs tre gånger som såbäddsberedning. Innan sådd gödulas med 195 kg kalksalpeter/ha (Odal, 1993). Dessutom bekämpas ogräsen med 2 l Bytusan S/ha (Odal, 1993). Utsädesmängden är 10 kg/ha, då utvintringen är 20% läggs 2 kg till, detta ger en utsädesmängd på 12 kg/ha.

Vår, sommar och höst:

Tidigt på våren gödulas med NPK 20 5 8 Bor, 400 kg/ha (Odal, 1993).

Under försommaren ges 510 kg kalksalpeter/ha (Odal, 1993).

I genomsnitt vart annat år krävs en bekämpning av bladlöss, den görs med Sumialpha, 3 dl/ha (Odal, 1993). Någon ogräsbekämpning anses inte vara nödvändig då rapsen har god konkurrensförmåga när den väl etablerat sej.

Skörden sker normalt i början av augusti, halmen bärgas vart femte år och förbränns i ett mindre värmeverk i närheten av gården.

Torkning och pressning:

Torkning görs i anslutning till skörden, med varmluftstork. Pressning däremot måste göras under vintern och våren, då pressningen tar ganska lång tid på de små gårdspressarna. Reningen sker med sedimentering i flera steg i aluminiumtankar.

Förutsättningar, rapsolja

- ▣ Oljehalt i frö: 45% vid 7% vattenhalt (Databok för driftplanering, 1989)
- ▣ Utbyte av olja: 28,8% av frövikten (Lagerfeldt, 1982), d.v.s 720 kg/ha
- ▣ Skörd: 2800 kg/ha, vattenhalt 18% (Databok för driftplanering, 1989)
- ▣ Mängd efter torkning: 2470 kg/ha, vattenhalt 7%
- ▣ Energiinnehåll olja: 37,6 MJ/kg (Norén, 1991)
- ▣ Mängd presskaka: 1750 kg, det vill säga det som är kvar när oljan är utpressad
- ▣ Energiinnehåll presskaka: 21,0 MJ/kg (Norén, 1990)
- ▣ Andel av arealen som utvintrar: 20% (Databok för driftplanering, 1989)
- ▣ Energiinnehåll utsäde: 26 MJ/kg, uträknat som ett vägt medelvärde av energiinnehållet i oljan och presskakan.
- ▣ Utsädesmängd 10 kg/ha, med 20% utvintring ger detta en genomsnittlig utsädesmängd på 12 kg/ha.
- ▣ Energiinnehåll halm: 14,8 MJ/kg, vattenhalt 15% (Nilsson & Ekström, 1982), (Axenbom, 1991).

Beskrivning av varje moment

Stubbearbetning:

Stubbearbetningen utförs med ett tungt tallriksredskap, Väderstad XT med 4,2 m arbetsbredd. Arbetshastigheten är 6 km/h och effektbehovet 90-100 kW. Belastning på stora traktorn är cirka 85%. Två körningar. Traktor och maskintid för dessa körningar är 1,2 h/ha. Redskapet väger 2900 kg och består till 100% av stål.

Plöjning:

Plöjningen utförs med en sexskärig delburen plog, Överum DTL 698H. Arbetsbredd 2,13 m, arbetshastighet 5 km/h. Effektbehov 90-100 kW vilket innebär en belastning på stora traktorn av 85%. Plogen väger 1600 kg och består till 100% av stål. Traktor och maskintid för detta moment är 1,7 h/ha.

Harvning:

Tre harvningar krävs för såbäddsberedningen. Dessa görs med en Väderstad NZE med nio meters arbetsbredd. Arbetshastighet 6 km/h, effektbehov 90-100 kW, vilket ger 85% av maximal belastning på stora traktorn. Traktor och maskintid för dessa tre harvningar är 0,80 h/ha. Då utvintringsprocenten i detta område är 20% av arealen räknar jag med en ökad maskintid beroende på att man måste göra en extra harvning på våren för sådd av någon vårgröda. Denna harvning bör belasta rapskalkylen eftersom extrainsatsen ej varit nödvändig om en vårgröda hade planerats från början. Detta ger en slutlig maskintid som är 0,85 h/ha. Harven väger 3100 kg och består till 100% av stål.

Sådd:

Sådden utförs med en Överum-TIVE Såjet 2004. Den har en arbetsbredd på 4 m. Arbetshastighet 7 km/h, effektbehov 41-52 kW, motsvarande en belastning på lilla traktorn av 85%. Maskinen väger 1480 kg och består till 100% av stål. Utsädesmängden är 10 kg/ha, detta gör att såmaskinen rymmer allt utsäde som krävs för 10 ha, alltså behövs ingen extra transport av utsäde. Traktor och maskintid för en körning är 0,68 h/ha. Då utvintringen är 20% räknar jag med en slutlig traktor- och maskintid av 1,2 gånger 0,68 det vill säga 0,82 h/ha. Även utsädesmängden ökas med 20% på grund av utvintringen till 12 kg/ha.

Vältning:

Vältningen görs med en Väderstad Rollex RX 940, arbetsbredd 9,4 m, arbetshastighet 6 km/h. Effektbehov 40-50 kW vilket ger en belastning av 85% på den lilla traktorn. Välten består till 100% av stål och väger 3500 kg. Maskintid för en körning är 0,25 h/ha, med tillägg på 20% för utvintring fås en slutlig traktor- och maskintid på 0,3 h/ha.

Gödsling:

På hösten före sådd ges en startgiva, 195 kg kalksalpeter/ha. Tidigt på våren ges 400 kg/ha av NPK 20 5 8 Bor. Under sommaren ges ytterligare 510 kg/ha av kalksalpeter (Odal, 1993). Maskinen som används är en Bogballe SST 1200, en centrifugalspridare. Vikt 625 kg, består till 100% av stål. lassvikt 1200 kg. Effektbehov under spridning är 40 kW, under lastning och transport 30 kW. Detta motsvarar en belastning på den lilla traktorn med 65% respektive 42%. Maskintiden för momentet beror på den mängd gödsel som ska spridas och framgår av tabell 10. Då avståndet till fältet är så kort antas att brukaren kör hem till gården med spridaren för att fylla den. Lastning av gödsel sker från storsäck med frontlastare.

Tabell 10, Maskintid för gödselspridning vid olika gödselgivor, (Databok för driftplanering, 1989).

Gödsling	Antal lass/10 ha	Maskintid , h/ha		
		Lastning	Transport	Spridning
Startgiva, hösten före sådd, 195 kg/ha	2	0,028	0,033	0,22
Vårspridning, 400 kg/ha	4	0,032	0,068	0,22
Sommarspridning, 510 kg/ha	5	0,034	0,083	0,22
Summa lastning:		0,094		
Summa transport:			0,184	
Summa spridning:				0,66
Totalt traktor och spridare:		0,938		

Kemisk bekämpning:

Kemisk bekämpning av ogräs görs på hösten efter sådd. Bekämpning av skadedjur, främst rapsbaggar, sker på sommaren. För ogräsbekämpningen används Butysan, 2 l/ha. Skadedjursbekämpningen utförs med Sumialpha, 3 dl/ha. Denna behandling utförs i medeltal vart annat år (Odal, 1993).

Besprutningen utförs med en Hardi TZ 1500 med 12 meters ramp, lastkapacitet 1500 l. Vikt 800 kg, antagen fördelning av material, viktprocent, plast 20%, stål 70%, gummi 10%. Arbetshastighet 8 km/h. Effektbehov 30 kW vilket innebär 42% belastning på lilla traktorn. Fyllning med sprutans pump, vätskemängd 200 l/ha, vilket gör att det krävs en extra transport för att klara hela fältet.

Maskintid: Fyllning 0,05 h/ha

Transport 0,33 h/10 ha det vill säga 0,03 h/ha.

Sprutning 0,12 h/ha

Totalt: 0,20 h/ha

(En transport ingår i sprutningstid, se allmänna förutsättningar).

Ogräsbekämpning utförs en gång per år, skadedjursbekämpningen 1/2 gång per år, sammanlagt 1,5 körning per år. Detta sammantaget ger en slutlig maskintid på 0,30 h/ha.

Skörd:

Tröskningen görs med en Fortschritt E 524. Den har en arbetsbredd på 5,4 m, arbetshastighet 3 km/h. Effekten är 112 kW och bränsleförbrukningen 23 kg/h, detta beräknat på att 70% av tiden är körtid och 30% övrig tid. (Statens maskinprovningar medd. 3221, 1989). Vikten är 9230 kg och maskinen antas bestå till 50% av järn och 50% av stål. Maskintiden är 1,2 h/ha.

Hemtransport av frö:

Skörden på 10 ha är 28 ton, med en vagn som lastar 7 ton innebär detta 4 lass/10 ha, med andra ord 0,4 lass/ha. Den vagn jag har valt är en Gisebo 2711, den lastar alltså sju ton och väger 1360 kg, den antas bestå till 100% av stål. Effektbehovet är 45 kW, 85% belastning på lilla traktorn. Maskintiden är 0,25 h/ha.

Torkning:

Fröet har vid skörden en vattenhalt som är 18%. För att kunna lagra och pressa rapsen måste vattenhalten sänkas till 7%. Detta görs med en varmluftstork, Akron 2A-166 dubbeltork. Den arbetar med 60°C torktemperatur. Vikt 4150 kg, består till 100% av stål. Pannan som levererar värmen är en Akron typ 1007P, vikt 850 kg, består till 100% av stål (Svensson, 1993).

Oljeåtgången är 0,126 kg/kg borttorkat vatten. Detta ger med 330 kg vatten en oljeförbrukning på 41,6 kg/ha. Elförbrukningen är 0,03 MJ/kg invägd mängd. Detta ger en elförbrukning av 84,7 MJ/ha. Torktiden är 12,5 h/10871 kg invägd mängd (Statens maskinprovningar, medd. 3080, 1987).

Detta ger en total torktid i vårt fall (2800 kg invägd mängd) som är 3,2 h/ha, för både tork och panna.

Pressning:

Pressningen tillgår så att en relativt liten press arbetar i stort sett kontinuerligt under hela hösten, vintern och våren. Med automatisk övervakningsutrustning krävs endast mindre tillsyn. Den press som används är Täbypressen, den väger 62 kg och består till 100% av stål (tillverkaren, 1993).

Pressen är eldriven och elåtgången för pressar av den här typen är 0,27 kWh/kg olja (Lagerfeldt, 1992), då vi har 720 kg olja/ha fås en total elförbrukning på 700 MJ/ha. Avverkningen är låg, cirka 5 kg olja/h (Lagerfeldt, 1992). Detta motsvarar 17 kg frö/h. Med våra 2470 kg fås en maskintid på 145 h/ha.

Rening av oljan:

Reningen görs med sedimentering i flera steg i olika tankar. Fyra aluminiumtankar som tillsammans väger 50 kg används. Användningstiden för denna anläggning är hela året, 8760 h/år. Med ovan nämnda kapacitet klarar pressen av att ta emot raps från cirka 40 ha/år. Total användningstid för tankarna blir då 1/40 av 8760 h, det vill säga 219 h/ha.

Halmpressning:

Mängden halm som kan bärgas är begränsad på grund av att mullråämnen, det vill säga organiskt material, måste tillföras marken hela tiden. Om halmen förs bort för ofta är det risk att mullhalten sjunker och därmed försämras strukturen på jorden. Med andra ord, den blir svårbrukad.

I denna odling förs halmen bort vart femte år, med halmbärgning så sällan är risken liten för problem med mullhalten. Mängden halm som kan bärgas efter en rapsskörd

på 2800 kg är 3,6 ton. (Databok för driftplanering, 1989). Beräkningsmässigt har jag hanterat detta på följande vis; maskintider och dylikt har beräknats på en halmskörd och därefter har alla siffror delats med fem, detta motsvarar ett halmuttag av 720 kg/ha och år.

Maskinen som används vid halmbärgning är en Claas Quadrant 1200, en storbalspress för fyrkantbalar, balvikt 315 kg. Att jag valt den maskinen beror på att den har hög kapacitet samt att balarna är transportekonomiska, båda faktorerna är viktiga vid system för halmeldning. Nämda maskin väger 5500 kg och består till 60% av stål och 40% av järn. Arbetshastigheten är 7 km/h. Effektbehovet är 75 kW vilket motsvarar en belastning på den stora traktorn av 64%.

Traktor- och maskintiden är 0,5 h/ton exklusive hantering av balarna, (Databok för driftplanering, 1989). Då vi skördar 3,6 ton per hektar och ska dela resultatet med fem fås en slutlig maskintid på 0,36 h/ha.

Transport, balar:

Förbränningen av halmen sker i ett mindre värmeverk, 20 km från fältet.

Transporten dit ombesörjs av brukaren med traktor och vagntåg. Skörden blir cirka 115 balar a' 315 kg.

De vagnar som används är en Gisebo 2120/S och en 2122/S, de är likvärdiga men den ena är lämplig att ha som andravagn i ett vagntåg. De består till 90% av stål och 10% av trä. Varje vagn lastar nio balar alltså 18 balar per runda vilket innebär $115/18=7$ rundor/10 ha. Effektbehov 35 kW alltså 67% belastning på lilla traktorn.

Traktor- och maskintid: Transport 20 km ToR, 20 km/h \Rightarrow 2 h/lass
 Tillägg 0,5 h/vända
 Sju vändor \Rightarrow 17,5 h/10 ha
 Summa maskintid/skörd: 1,75 h/ha
 Summa maskintid/ha och år: 0,35 h/ha

Hantering balar på fält:

Lastning av balarna görs med frontlastaren och lilla traktorn. Effektbehov 35 kW, vilket motsvarar 67% belastning. Traktor- och maskintid 0,20 h/ton, (Databok för driftplanering, 1989). Då vi har 0,72 ton per år fås en slutlig traktor- och maskintid av 0,14 h/ha.

Beskrivning gemensamma hjälpmedel

Stor traktor:

Som traktor för de tyngre arbetena har jag valt en Case IH 7120 Magnum. Kraftuttagseffekten är 116 kW, vikt 7044 kg utan vätskor (Statens maskinprovningar, medd. 3254, 1990). Den antas bestå av 50% stål och 50% järn. Bränsleförbrukning, se tabell 11.

Tabell 11: Bränsleförbrukning för Case IH 7120 Magnum (Statens maskinprovningar, medd. 3254, 1990).

Belastning, % av max PTO-effekt	Bränsleförbrukning, kg/kWh	Bränsleförbrukning, kg/h
85	0,257	25,2
64	0,277	20,8
42	0,323	16,4
21	0,477	12,3
0		8,2

Liten traktor:

För de lättare arbetena har jag valt en Massey Ferguson 3060 4WD. Kraftuttagseffekten är 52 kW och vikten 3845 kg utan vätskor (Statens maskinprovningar, medd 3163, 1988). Den antas bestå till 50% av stål, 50% av järn. Bränsleförbrukningen anges i tabell 12.

Tabell 12: Bränsleförbrukning för Massey Ferguson 3060 4WD (Statens maskinprovningar, medd 3163 1988).

Belastning, % av PTO-effekt.	Bränsleförbrukning, kg/kWh	Bränsleförbrukning, kg/h
85	0,277	12,4
64	0,299	10,1
42	0,354	7,9
21	0,526	6,0
0		4,3

Frontlastare:

Vid flera moment krävs en frontlastare, jag har valt en Trima 1420, den är avsedd för traktorer med 43 till 57 kW. Detta gör den lämplig för Massey Ferguson 3060.

Den har följande kapacitet; Nyttolast fullhöjd 1325 kg, nyttolast 2 m lyfthöjd 1400 kg.

Detta gör att den klarar de jobb som förekommer i rapsodlingen.

Lastaren väger 560 kg och består till 100% av stål.

Övriga data för beräkningarna**Livslängder:**

Enligt allmänna förutsättningarna är livslängderna för fältsmaskiner 1000 h och för traktorer 10 000 h. Följande undantag förekommer i tabell 11:

Tröskan har en livslängd på 3600 h, beräknat utifrån 240 timmars årlig användning under 15 år. Pressens livslängd är 60 000 h, 10 års användning, 6000 h/år.

Torkens livslängd är 12 500 h, 25 års användning, 500 h/år. Pannans livslängd är 10 000 h, 500 h/år i 20 år. Sedimenteringstankarna har en livslängd på 219 000 h, det vill säga 25 hela år a' 8760 h.

Bränsleförbrukning:

Under varje beskrivet moment anges ett effektbehov samt belastning på aktuell traktor, genom att använda ovanstående tabeller fås bränsleförbrukningen i kg/h.

Tröskans bränsleförbrukning är förklarad i beskrivningen av skörden.

Resultat, kallpressad rapsolja

Resultaten som till största delen består av energiinsatserna, presenteras i form av tabeller. De olika beräkningsstegen förklaras ej då tabellerna är relativt självförklarande.

Tabell 13: Maskininsats kallpressad rapsolja

Operation	Effekt-behov kW	Bränsleför- förbrukning kg/h	Maskintid, h/ha			Bränsle
			Traktor stor	Traktor liten	Övriga maskiner	kg/ha och omlopp
Stubbear- betning	90-100	25,2	1,2			30,2
Plöjning	90-100	25,2	1,7			42,8
Harvning	90-100	25,2	0,85			21,4
Sådd	40-50	12,4		0,82		10,1
Vältning	40-55	12,4		0,3		3,7
Gödsling	40	11,5		0,66		7,5
Lastning och trp av gödsel	30	9,5		0,28		2,6
Kemisk bekämpning	30	9,5		0,3		2,8
Skörd	112	23,0			1,2 (tab.14)	27,6
Transport, frö	45	12,4		0,25		3,1
Torkning						41,6
Halmpressning	75	20,8	0,36			7,5
Transport, halm	35	10,1		0,35		3,5
Hantering, halm	35	10,1		0,14		1,4
Summor:			3,75 (tab.14)	2,61 (tab.14)		205,6 (tab.15)

Tabell 14: Energiinsats i maskiner, kallpressad rapsolja

Maskin	Maskintid h/ha	vikt, kg	livslängd, h	Energitäthet MJ/kg	Energiinsats MJ/ha
Tallriksharv, Väderstad XT	1,2	2900	1000	111	386
Plog, Överum DTL 698H	1,7	1600	1000	111	302
Harv, Väderstad NZE	0,85	3100	1000	111	292
Såmaskin, TIVE såjet 2004	0,82	1480	1000	111	135
Vält, Väderstad Rollex RX 940	0,3	3500	1000	111	117
Gödsling, Bogballe SST1200	0,94	625	1000	111	66
Spruta, Hardi TZ 1500	0,3	400	1000	94	12
Tröska, Fortschritt E524	1,2	9230	3600	76	234
Tork, Akron 2A-166	3,2	4150	12 500	111	118
Panna, Akron Typ 1007 P	3,2	850	10 000	111	30
Press, Täbypressen	145	62	60 000	111	17
Rening, Aluminiumfat	219	50	219 000	292	15
Frontlastare, Trima 1420	0,24	560	1000	111	15
Traktor stor, Case IH 7120	4,11	7044	10 000	76	220
Traktor liten, MF 3060	3,10	3845	10 000	76	91
Transporter, Gisebo 2711	0,25	1360	1000	111	38
Gisebo 2120/S	0,35	3400	1000	101	120
Gisebo 2122/S	0,35	3400	1000	101	120
Halmpress, Claas Quadrant	0,36	5500	1000	83	164
				Summa:	2492
				Underhåll: 10%	249
				Totalt (till tab.15)	2741

Tabell 15: Total energiinsats i rapsoljesystemet:

Insatsmedel eller motsvarande	Mängd/ha	Energiinnehåll, MJ/kg eller MJ/MJ	Energiinsats MJ/ha
Diesel	205,6	50,3	10342
Utsäde	12	26	312
Kalksalpeter	705	6,70	4724
NPK 20 5 8	400	9,84	3936
Butysan S	2	101,5	203
Sumialpha	0,15	101,5	15
El för pressning	700	1,58	1106
El för torkning	84,7	1,58	134
Transport, gödsel till gård	1105	0,58	641
Maskinenergi enl. tab.13			2741
Summa:			24 154

Avkastning av energi:

Som anges i förutsättningarna för rapsodlingen avkastar detta odlingssystem 720 kg olja a' 37,6 MJ/kg, 1750 kg presskaka a' 21 MJ/kg samt 720 kg halm a' 14,8 MJ/kg. Detta ger en "energiskörd" av 27 072 MJ i oljan, 36 750 MJ i presskakan och 10 656 MJ i halmen, sammantaget 74 478 MJ. Om man väger detta mot energiinsatsen enligt tabell 15 fås en kvot som är 3,08, det vill säga att för varje MJ man sätter in i odlingen får man 3,08 tillbaka.

Resultat, förestrad rapsolja

Bakgrund:

Med förestring av rapsoljan menas en process där rapsoljans egenskaper, främst viskositeten, förändras till att mer likna dieselolja. Detta görs för att man ska kunna använda rapsoljan i vanliga dieselmotorer, utan ombyggnad av motorerna. Metoden är tekniskt väl känd och i Österrike finns flera fullskaleanläggningar för produktion av förestrad rapsolja, som där kallas "Biodiesel".

Processen:

Det som sker i processen är att den trevärda alkoholen glycerol byts ut mot envärda alkoholer, det vill säga långa fettsyror byts ut mot korta.

Rent praktiskt går det till så att man tillsätter metanol till oljan, 110 kg krävs per 1000 kg rapsolja, dock tillsätts metanol i överskott för att säkerställa att all olja förestras.

Det som då bildas är:

- 1000 kg rapsmetylester, kallat RME, som är det önskade bränslet, effektivt värmevärde 37,2 MJ/kg (Norén, 1990).
- 110 kg glycerin (Norén, 1990), som kan användas i kemisk industri eller som bränsle i värmepannor, energiinnehåll 21,2 MJ/kg (Mörtstedt & Hellsten, 1987).

Metanol har ett effektivt värmevärde på 19,8 MJ/kg (Mörtstedt & Hellsten, 1987). Då det åtgår 0,21 MJ att tillverka metanol som innehåller en MJ (Andersson, 1981), fås ett slutligt energiinnehåll i metanolen på 1,21 gånger 19,8 det vill säga 24,0 MJ/kg. Processen går bäst vid 60°C, när reaktionen är färdig destilleras överskottsmetanolen bort, den återanvänds i processen och belastar inte kalkylen. För denna destillation måste blandningen värmas till 150°C.

Värmekapaciteten för oljan är 1,97 KJ/kg*°C (Handbook of chemistry and physics, 1960). Jag förutsätter att oljan har en temperatur av 10 °C, detta innebär att den måste värmas upp 140°C, totalt sett, oljan svalnar aldrig mellan processen och destillationen. Detta ger en energiförbrukning som är :

$140^{\circ}\text{C} \cdot 1,97 \cdot 10^{-3} \cdot (720 + 80) = 220 \text{ MJ/ha}$, det vill säga 0,306 MJ/kg RME.

Mängden, 800 kg är oljan plus metanolen som går åt i processen, den metanol som destilleras bort återanvänds varm varvid värmen går tillbaka in i processen.

Denna värmeenergi antas härstamma från flis, jag räknar på salixflis.

Energiinnehållet i salixflis redovisas nedan.

- Energiinsats per hektar i salixodlingen: 193 506 MJ
- Effektivt värmevärde i flisen från ett hektar: 3 726 000 MJ
- Summa: 3 919 506 MJ
- Kvot mellan summa och effektivt värmevärde: 1,05

Detta säger att energiinnehållet i salixflis är 1,05 MJ/MJ. Vi antar att anläggningen för förestring är stor, det innebär bland annat att pannan för förbränning av flisen har hög verkningsgrad, 90%. Vidare antas 75% av värmen som åtgår till destillationen kunna återanvändas för uppvärmningsändamål. Att siffran för återanvändning inte är högre beror huvudsakligen på att man producerar värme även på sommaren då behovet av husuppvärmning är lågt. sammanställer man ovanstående fås;

- Behov av värmeenergi per hektar: 220 MJ/ha
- Mängd energi som måste in i pannan vid 90% pannverkningsgrad: $220/0,90=244$ MJ/ha
- Mängd flis som måste in i pannan då energiinnehållet i flis är 1,05 MJ/MJ: $244*1,05=257$ MJ/ha
- Mängd energi som ska belasta kalkylen då 75% av värmen återvinns: 64 MJ/ha (till tabell 15)

I Österrike anges energiförbrukningen vara cirka 0,36 MJ/kg RME, (Bernesson, 1990) med ovanstående siffror erhålls $244/720=0,31$ MJ/kg. En förklaring till skillnaden kan vara till exempel en annan återvinningsprocent, storleksordningen är dock inom rätt intervall.

Övriga förutsättningar:

Framställning av RME lämpar sej inte för gårdsbruk, utan här krävs en större anläggning för att få lönsamhet. Under Österrikiska förhållanden är ekonomiskt maximalt transport avstånd för rapsfrö till förestring 90 km, (Bernesson, 1990). Snarlika förutsättningar borde finnas i Sverige varför jag väljer ett avstånd mellan gård och anläggning på 50 km. Samma avstånd väljs för transporten av oljan till användare. Presskakan används som foder och måste i princip transporteras tillbaka till gården, transportavstånd för presskaka alltså 50 km.

Glycerinet används antingen som bränsle eller som råvara i kemisk industri, transportavståndet sätts till 30 km.

Energiåtgången för lastbilstransport är enligt de allmänna förutsättningarna $2,88*10^{-3}$.

Dessutom görs ett tillägg på 0,4% på energianvändningen inklusive energi i rapsoljan och metanolen för byggnad och underhåll av anläggningen, (Nord & Nygaard, 1984). Denna siffra gäller aluminium- och cementfabriker vilket är energiintensiva industrier, så mitt antagande att RME-tillverkning har samma energikostnad för byggnader och underhåll är troligtvis en underskattning.

Tabell 16. Energiinsats förestrad rapsolja:

Insatsmedel eller motsvarande	Mängd/ha	Energiinnehåll, MJ/kg el.dyl.	Energiinsats MJ/ha
Energiinsats för odling, ur tabell 15:			24 154
Metanol:	79,2	24,0	1901
Värme i processen:			64
Transport frö-fabrik, 50 km:	2470	0,144	356
Byggnad av fabrik och underhåll, 0,4% av summan av ovanstående plus 0,4% av energiinnehållet i olja (27 072 MJ/ha)			214
Transport Olja-användare, 50 km:	720	0,144	104
Transport presskaka-användare, 50 km:	1750	0,144	252
Transport glycerin-användare, 30 km:	79,2	0,086	7
		Summa.	27 052

Avkastning av energi:

Systemet förestrad rapsolja avkastar 720 kg RME a' 37,2 MJ/kg, 1750 kg presskaka a' 21 MJ/kg samt 720 kg halm a' 14,8 MJ/kg.. Detta ger en "energiskörd" av 26 784 MJ i RME, 36750 MJ i presskakan och 10 656 MJ i halmen. Total skörd 74 190 MJ/ha. Jämför man detta med energiinsatsen i systemet enligt tabell 16 fås en kvot som är 2,74, alltså, sätter man in en MJ i systemet får man 2,74 MJ tillbaka.

SPANNMÅL FÖR ENERGIÄNDAMÅL

Inledning, spannmål

Liksom odling av raps för energiändamål har spannmålsodling för energiändamål blivit intressant i samband med överskottsproblematiken inom jordbruket. Det som är tilltalande med denna lösning är bland annat att odlingstekniken är väl etablerad, de olika sätten att använda spannmål likaså. Dessutom kan en eventuell tillbakagång till livsmedelsproduktion göras utan problem.

Odlingen av spannmål för energiändamål skiljer sej inte från konventionell spannmålsodling. Det som kan hända i framtiden är att speciella "energivetesorter" förädlas fram, massveten, det vill säga vetesorter som avkastar mer torrsustans men med lägre proteinhalt. Det är ju stärkelsen i vetet som är intressant ur energisynpunkt, inte proteinet.

Det finns två huvudalternativ när det gäller hur spannmål ska användas för energiändamål, förbränning för uppvärmning eller tillverkning av etanol för användning som motorbränsle.

Förbränning av vetet görs med känd teknik. Spannmålskärnan är att betrakta som en "minipellet" vilket gör att vanliga pellets pannor kan användas. Användaren är dessutom inte låst vid spannmål utan kan byta bränsle utan några större problem.

Investeringen är relativt låg.

I analysen för värmeproduktion ingår en transport med traktor och vagnar till värmeverk 20 km från gården.

Etanoltillverkning däremot kräver stora investeringar, stora anläggningar behövs för att få ekonomiskt acceptabla resultat. Därför krävs det politiska beslut och riskvilligt kapital för att starta storskalig etanoltillverkning från spannmål i Sverige. Idag finns en demonstrationsanläggning i Lidköping, den ligger dock för närvarande i malpåse. Data från den anläggningen ligger till grund för beräkningarna om energiåtgång i etanolprocessen. Processmetoden kallas Biostil och har utvecklats av Alfa-Laval.

Etanoltillverkning från spannmål sker i tre steg, först hydrolyseras stärkelsen till socker genom att enzymer tillsätts och temperaturen höjs till 95°C. Därefter förjäses det bildade sockret av jästsvampar till etanol och koldioxid. Till sist destilleras alkoholen fram.

Etanol kan användas som renalkohol huvudsakligen i ottomotorer eller som inblandning i bensin, både hög- och låginblandning har provats.

Vid framställning fås efter destillering en koncentration av 95,5% etanol, denna produkt kan endast användas i renalkoholmotorer på grund av vatteninnehållet. För att inblandning i bensin ska fungera måste koncentrationen höjas, detta kallas absolutering, då får man en 99,5% blandning. I denna analys räknar jag på 95,5% etanol för renalkoholdrift.

I energibalansberäkningen ingår torkning och transport av biprodukten, dranken. Energiinnehållet i dranken beaktas också. Dessutom ingår eldning av halmen i systemet jag analyserat.

Några nackdelar med etanol från spannmål är att dranken, som används som foder, måste betinga ett tillräckligt högt pris för att etanolen ska kunna konkurrera prismässigt med andra bränslen. Det gör att är produktionen av etanol begränsas av efterfrågan på foder. För att kunna använda ren etanol i motorer krävs förutom att

dessa måste modifieras att ett helt nytt distributions- och lagringssystem måste byggas upp. Detta kräver stora investeringar.

Jag har hittills bara nämnt vete, det går tekniskt sett lika bra med de andra spannmålsslagen, dock har vete den högsta avkastningen så det är rimligt att anta att det är vete som kan bli aktuellt.

Uppläggning av kapitlet:

I första delen gör jag en beräkning av insatserna för odling och torkning av spannmålen. Därefter bygger jag på med energiinsatsen i de olika alternativen.

Odlingssystem, spannmål

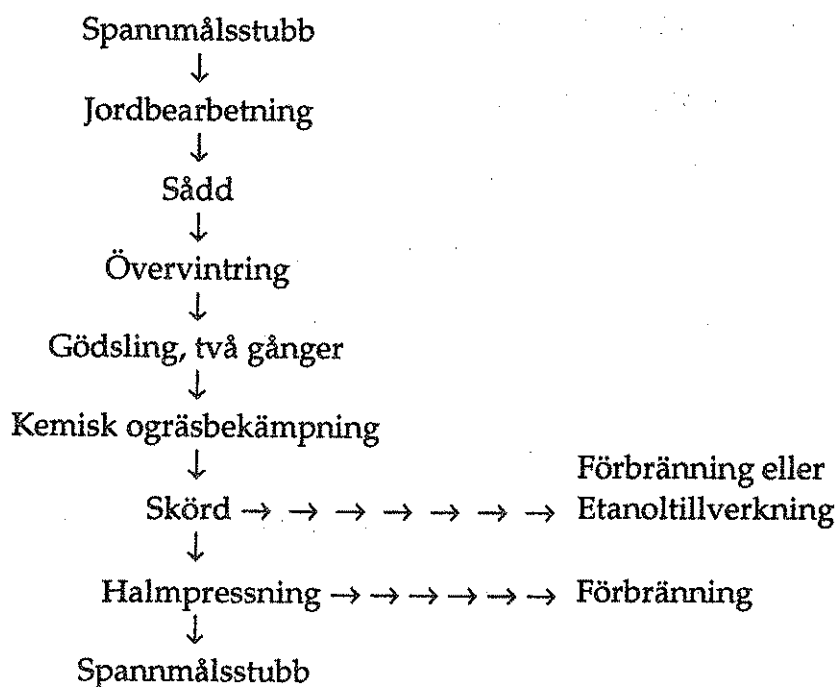
Energibalansberäkningen på spannmålen sträcker sej över ett år. Systemet börjar med spannmålsstubb på hösten, fortsätter nästa vår och sommar till skörden på hösten. Kärna men även halm till bränsle skördas. Åkern lämnas med spannmålsstubb. Därefter vidtar torkning, transporter av spannmål, halm, biprodukter och etanol samt jäsning och destillering. Spannmålsslaget jag räknat på är höstvet.

I odlingen används kemisk bekämpning av ogräs. I denna del av Sverige utvintrar i genomsnitt 8% av höstvetarealen varje år (Databok för driftplanering, 1989), till detta tas hänsyn i analysen.

Vete har ett energivärde vid förbränning som är 14,9 MJ/kg, (Fluck, 1992).

Etanolen som produceras har ett energivärde som är 23,7 MJ/l. Biprodukten, dranken, har ett energivärde som foder åt nötkreatur som är 8,38 MJ/kg, (Danfors & Norén, 1981).

Halm bärgas vart femte år, oftare bör man inte bärga halm för att inte minska jordens mullhalt och därmed försämra odlingsbetingelserna. Halmskörden är cirka 5 ton/ha och kärnskoroden 5,8 ton/ha med 18% vattenhalt (Databok för driftplanering, 1989).



Höstens arbeten:

På hösten, före plöjningen, stubbearbetas fältet två gånger för att bekämpa rotogräs och för att bruka ner halmrester. Efter plöjningen harvar man tre gånger som såbäddsberedning. Varken gödsling eller kemisk ogräsbekämpning görs på hösten. Utsädesmängden är 200 kg/ha, med 8% tillägg för utvintring blir det 216 kg/ha.

Vår, sommar och höst:

Så tidigt som möjligt på våren gödslas med 400 kg/ha, NPK 20 5 9. Under våren bekämpas ogräsen kemiskt med 2 l/ha Starane och 20 g/ha Glean, (Odal, 1993), en körning med sprutan. Under försommaren gödslas med 450 kg kalksalpeter/ha. Skörden sker normalt under andra halvan av augusti. Vart femte år bärgas halmen, Detta beaktas i analysen genom att tidsåtgången för en halmbärgning beräknas, därefter delas alla resultat, inklusive halmskörden, med fem.

Förbränning:

Förbränningen sker vid ett mindre värmeverk 20 km från gården. Transporten utförs med odlarens egna maskiner. Detsamma gäller halmen.

Etanoltillverkning:

Etanoltillverkningen görs i en central anläggning som antas ligga 100 km från gården. Etanolen transporteras till användare, avstånd 30 km från fabriken. Biprodukten, dranken, torkas och transporteras tillbaka till gården, d.v.s 100 km. Alla dessa transporter sker med lastbil.

Halmen förbränns i ett mindre värmeverk, 20 km från gården, transporten dit görs med brukarens egna maskiner.

Värmebehovet i etanolprocessen täcks med salixflis.

Förutsättningar, spannmål

- ▣ Avkastning: 5600 kg/ha, vid 18% vattenhalt
- ▣ Mängd efter torkning: 5400 kg, 15% vattenhalt
- ▣ Mängd etanol 95,5%: 2000 l/ha, (Danfors & Norén, 1981)
- ▣ Energiinnehåll etanol: 23,70 MJ/l, (Danfors & Norén, 1981)
- ▣ Energiinnehåll kärna: 14,9 MJ/kg vid 15% VH, (Fluck, 1992).
- ▣ Energiinnehåll drank, 30% vattenhalt: 8,38 MJ/kg (foderenergi för nöt) (Danfors & Norén, 1981).
- ▣ Energiinnehåll halm: 14,4 MJ/kg vid 15% VH, (Axenbom, 1991).
- ▣ Andel av arealen som utvintrar. 8% (Databok för driftplanering, 1989)
- ▣ Energiinnehåll utsäde: 16 MJ/kg, (Andersson, 1981)

- ▣ Densitet etanol: 811 kg/m³ vid 20°C (Handbook of chemistry and physics, 1980)
- ▣ Utsädesmängd 200 kg/ha, med 8% utvintring ger detta en genomsnittlig utsädesmängd på 216 kg/ha.

Beskrivning av varje moment

Stubbearbetning:

Stubbearbetningen utförs med ett tungt tallriksredskap, Väderstad XT med 4,2 m arbetsbredd. Arbetshastigheten är 6 km/h och effektbehovet 90-100 kW. Belastning på stora traktorn är cirka 85%. Två körningar. Traktor och maskintid för dessa körningar är 1,2 h/ha. Redskapet väger 2900 kg och består till 100% av stål.

Plöjning:

Plöjningen utförs med en sexskärig delburen plog, Överum DTL 698H. Arbetsbredd 2,13 m, arbetshastighet 5 km/h. Effektbehov 90-100 kW vilket innebär en belastning på stora traktorn av 85%. Plogen väger 1600 kg och består till 100% av stål. Traktor och maskintid för detta moment är 1,7 h/ha.

Harvning:

Tre harvningar krävs för såbäddsberedningen. Dessa görs med en Väderstad NZE med nio meters arbetsbredd. Arbetshastighet 6 km/h, effektbehov 90-100 kW, vilket ger 85% av maximal belastning på stora traktorn. Traktor och maskintid för dessa tre harvningar är 0,80 h/ha. Då utvintringsprocenten i detta område är 8% av arealen räknar jag med en ökad maskintid beroende på att man måste göra en extra harvning på våren för sådd av någon vårgroda. Denna harvning bör belasta höstvetekalkylen eftersom extrainsatsen ej varit nödvändig om en vårgroda hade planerats från början. Detta ger en slutlig maskintid som är 0,82 h/ha. Harven väger 3100 kg och består till 100% av stål.

Sådd:

Sådden utförs med en Överum-TIVE Såjet 2004. Den har en arbetsbredd på 4 m. Arbetshastighet 7 km/h, effektbehov 41-52 kW, motsvarande en belastning på lilla traktorn av 85%. Maskinen väger 1480 kg och består till 100% av stål. Utsädesmängden är 200 kg/ha, detta gör att såmaskinen inte rymmer allt utsäde som krävs för 10 ha, alltså behövs en extra vända hem för att hämta mer utsäde, denna transport görs med såmaskinen. Traktor och maskintid för en körning är 0,68 h/ha plus 0,1 h/ha för nämnda transport. Då utvintringen är 8% räknar jag med en slutlig traktor- och maskintid av 1,08 gånger 0,78 det vill säga 0,82 h/ha. Även utsädesmängden ökas med 8% på grund av utvintringen till 216 kg/ha.

Vältning:

Vältningen görs med en Väderstad Rollex RX 940, arbetsbredd 9,4 m, arbetshastighet 6 km/h. Effektbehov 40-50 kW vilket ger en belastning av 85% på den lilla traktorn. Välten består till 100% av stål och väger 3500 kg. Maskintid för en körning är 0,25 h/ha, med tillägg på 8% för utvintring fås en slutlig traktor- och maskintid på 0,27 h/ha

Gödsling:

Så tidigt som möjligt på våren gödslar man med 400 kg/ha, NPK 20 5 9. Under försommaren ges resten av gödseln i form av 450 kg/ha, kalksalpeter (Odal, 1993). Arbetet utförs med en Bogballe SST 1200, en konventionell centrifugalspridare som har en arbetsbredd på 12 meter, en lassvikt på 1200 kg och väger 625 kg.

Arbets hastighet 7 km/h. Maskinen består till 100% av stål. Effektbehov under spridning är 40 kW och under lastning och transport 30 kW. Detta motsvarar en belastning på den lilla traktorn på 65 respektive 42%. Transporten av gödsel mellan fält och gård sker med spridaren, avståndet är relativt kort. Lastning sker från storsäck med hjälp av frontlastaren.

Maskintiden för momentet beror på den mängd gödsel som ska spridas och framgår i tabell 17.

Tabell 17: Maskintid för gödselspridning vid olika gödselgivor, (Databok för driftplanering, 1989).

Gödsling	Antal lass/10ha	Maskintid , h/ha		
		Lastning	Transport	Spridning
Första giva, 400 kg/ha	4	0,032	0,068	0,22
Andra giva, 450 kg/ha	4	0,032	0,068	0,22
	Summa lastning:	0,064		
	Summa transport:		0,136	
	Summa spridning:			0,44
	Totalt traktor och spridare:	0,74		

Kemisk ogräsbekämpning:

Den kemiska ogräsbekämpningen utförs på våren, med en blandning av Glean, 20 g/ha och Starane, 2 l/ha. Vattenmängd 200 l/ha. Den spruta som används är en Hardi TZ 1500, den har 12 m arbetsbredd, 1500 l tank och väger 800 kg. Antagen materialfördelning, viktprocent; stål 70%, plast 20%, gummi 10%. arbets hastighet 8 km/h. Fyllning av sker med sprutans pump. Två transporter krävs för att klara hela fältet. Effektbehov under både sprutning och transport är 30 kW, motsvarande en belastning på lilla traktorn som är 42%.

Maskintid: Fyllning 0,05 h/ha

Transport 0,33 h/10 ha det vill säga 0,03 h/ha.

Sprutning 0,12 h/ha

Totalt: 0,20 h/ha

(En transport ingår i sprutningstiden, se allmänna förutsättningar).

Skörd:

Tröskningen görs med en Fortschritt E 524. Den har en arbetsbredd på 5,4 m, arbetshastighet 4 km/h. Effekten är 112 kW och bränsleförbrukningen 23 kg/h, detta beräknat på att 70% av tiden är körtid och 30% övrig tid. Vikten är 9230 kg (Statens maskinprovningar medd. 3221, 1989).

Maskinen antas bestå till 50% av järn och 50% av stål. Maskintiden är 1,25 h/ha.

Hemtransport spannmål:

Skörden är 5600 kg/ha vid 18% vattenhalt, det innebär 56 ton/10 ha. Vagnen som används är en Gisebo 2711 som lastar 7 ton. Detta ger 8 lass/10 ha alltså 0,8 lass/ha. Transporthastighet 12 km/h. Effektbehovet är 45 kW, alltså 85% belastning på den lilla traktorn. Vagnen har ställämmer och består till 100% av stål. Traktor- och maskintiden är 0,30h/ha.

Torkning:

Spannmålen har vid skörden en vattenhalt som är 18%. För att kunna lagra vetet måste vattenhalten sänkas till 15%. Detta görs med en varmluftstork, Akron 2A-166 dubbeltork. Den arbetar med 60°C torktemperatur. Vikt 4150 kg, består till 100% av stål. Pannan som levererar värmen är en Akron typ 1007P, vikt 850 kg, består till 100% av stål (Svensson, 1993).

Oljeåtgången är 0,155 kg/kg borttorkat vatten. Detta ger med 200 kg vatten som ska bort en oljeförbrukning på 31,0 kg/ha. Elförbrukningen är 0,017 MJ/kg invägd mängd. Detta ger en elförbrukning av 95 MJ/ha. Torktiden är 8,5 h/13625 kg invägd mängd (Statens maskinprovningar, medd. 3080, 1987).

Detta ger en total torktid i vårt fall (5600 kg invägd mängd) som är 3,5 h/ha, för både tork och panna.

Halmpressning:

Mängden halm som kan bärgas är begränsad på grund av att mullråämnen, det vill säga organiskt material, måste tillföras marken hela tiden. Om halmen förs bort för ofta är det risk att mullhalten sjunker och därmed försämras strukturen på jorden. Med andra ord, den blir svårbrukad.

I denna odling förs ett ton halm per år bort i genomsnitt, med ett så lågt uttag är risken liten för problem med mullhalten. Mängden halm som kan bärgas efter en veteskörd på 5600 kg/ha är cirka 5 ton/ha, (Databok för driftplanering, 1989). Beräkningsmässigt har jag hanterat detta på följande vis; maskintider och dylikt har beräknats på en halmskörd och därefter har alla siffror delats med fem, detta motsvarar ett halmuttag av ett ton/ha och år.

Maskinen som används vid halmbärgning är en Claas Quadrant 1200, en storbalspress för fyrkantbalar, balvikt 315 kg. Att jag valt den maskinen beror på att den har hög kapacitet samt att balarna är transportekonomiska, båda faktorerna är viktiga vid system för halmeldning. Nämda maskin väger 5500 kg och består till 60% av stål och 40% av järn. Arbetshastigheten är 7 km/h. Effektbehovet är 75 kW vilket motsvarar en belastning på den stora traktorn av 64%.

Traktor- och maskintiden är 0,5 h/ton exklusive hantering av balarna, (Databok för driftplanering, 1989). Då vi skördar fem ton per hektar och ska dela resultatet med fem fås en slutlig maskintid på 0,5 h/ha.

Transport, balar:

Förbränningen av halmen sker i ett mindre värmeverk, 20 km från fältet.

Transporten dit ombesörjs av brukaren med traktor och vagntåg. Skörden blir cirka 160 balar a' 315 kg.

De vagnar som används är en Gisebo 2120/S och en 2122/S, de är likvärdiga men den ena är lämplig att ha som andravagn i ett vagntåg. De består till 90% av stål och 10% av trä. Varje vagn lastar nio balar alltså 18 balar per runda vilket innebär $160/18=9$ rundor/10 ha. Effektbehov 35 kW alltså 67% belastning på lilla traktorn.

Traktor- och maskintid: Transport 20 km ToR, 20 km/h \Rightarrow 2 h/lass

Tillägg 0,5 h/vända

Nio vändor \Rightarrow 22,5 h/10 ha

Summa maskintid/skörd: 2,25 h/ha

Summa maskintid/ha och år: 0,45 h/ha

Hantering balar på fält:

Lastning av balarna görs med frontlastaren och lilla traktorn. Effektbehov 35 kW, vilket motsvarar 67% belastning. Traktor- och maskintid 0,20 h/ton, (Databok för driftplanering, 1989). Då vi har ett ton per år fås en slutlig traktor- och maskintid av 0,20 h/ha.

Beskrivning gemensamma hjälpmedel.**Stor traktor:**

Som traktor för de tyngre arbetena har jag valt en Case IH 7120 Magnum.

Kraftuttagseffekten är 116 kW, vikt 7044 kg utan vätskor (Statens maskinprovningar, medd. 3254, 1990). Den antas bestå av 50% stål och 50% järn. Bränsleförbrukning, se tabell 18.

Tabell 18: Bränsleförbrukning för Case IH 7120 Magnum (Statens maskinprovningar, medd. 3254, 1990).

Belastning, % av max PTO-effekt	Bränsleförbrukning, kg/kWh	Bränsleförbrukning, kg/h
85	0,257	25,2
64	0,277	20,8
42	0,323	16,4
21	0,477	12,3
0		8,2

Liten traktor:

För de lättare arbetena har jag valt en Massey Ferguson 3060 4WD. Kraftuttagseffekten är 52 kW och vikten 3845 kg utan vätskor (Statens maskinprovningar, medd 3163, 1988). Den antas bestå till 50% av stål, 50% av järn. Bränsleförbrukningen anges i tabell 19.

Tabell 19: Bränsleförbrukning för Massey Ferguson 3060 4WD (Statens maskinprovningar, medd 3163 1988).

Belastning, & av PTO-effekt.	Bränsleförbrukning, kg/kWh	Bränsleförbrukning, kg/h
85	0,277	12,4
64	0,299	10,1
42	0,354	7,9
21	0,526	6,0
0		4,3

Frontlastare:

Vid flera moment krävs en frontlastare, jag har valt en Trima 1420, den är avsedd för traktorer med 43 till 57 kW. Detta gör den lämplig för Massey Ferguson 3060. Den har följande kapacitet; Nyttolast fullhöjd 1325 kg, nyttolast 2 m lyfthöjd 1400 kg. Detta gör att den klarar de jobb som förekommer i spannmålsodlingen. Lastaren väger 560 kg och består till 100% av stål.

Övriga data för beräkningarna**Livslängder:**

Enligt de allmänna förutsättningarna är livslängderna för traktorer 10 000 h och för fältsmaskiner 1000 h. Följande undantag och tillägg förekommer i tabell 21: Tröskans livslängd är 3600 h, beräknat utifrån en årlig användning av 240 h under 15 år. Torkens livslängd är 12 500 h, 25 års användning, 500 h/år. Pannans livslängd är 10 000 h, 500 h/år i 20 år.

Bränsleförbrukning:

Under varje beskrivet moment anges ett effektbehov samt belastning på aktuell traktor, genom att använda ovanstående tabeller fås bränsleförbrukningen i kg/h. Tröskans bränsleförbrukning är förklarad i beskrivningen av skörden.

Energiinsats vid spannmålsodling

Tabell 20: Maskininsats spannmål för energiändamål:

Operation	Effekt-behov kW	Bränsleför- förbrukning kg/h	Maskintid, h/ha			Bränsle kg/ha och omlopp
			Traktor stor	Traktor liten	Övriga maskiner	
Stubbear- betning	90-100	25,2	1,20			30,2
Plöjning	90-100	25,2	1,70			42,8
Harvning	90-100	25,2	0,82			20,7
Sådd	40-50	12,4		0,84		10,4
Vältning	40-55	12,4		0,27		3,3
Gödsling	40	11,5		0,44		5,1
Lastning och trp av gödsel	30	9,5		0,20		1,9
Kemisk bekämpning	30	9,5		0,20		1,9
Skörd	112	23,0			1,25 (tab.21)	28,8
Transport, spannmål	45	12,4		0,30		3,7
Torkning						31,0
Halm- pressning	75	20,8	0,50			10,4
Transport, halm	35	10,1		0,45		4,5
Hantering, halm	35	10,1		0,20		2,0
Summor:			4,22 (tab.21)	2,90 (tab.21)		196,7 (tab.22)

Tabell 21. Energiinsats i maskiner, spannmål för energiändamål:

Maskin	Maskintid h/ha	vikt, kg	livslängd, h	Energitäthet MJ/kg	Energiinsats MJ/ha
Tallriksharv, Väderstad XT	1,2	2900	1000	111	386
Plog, Överum DTL 698H	1,7	1600	1000	111	302
Harv, Väderstad NZE	0,82	3100	1000	111	282
Såmaskin, TIVE såjet 2004	0,84	1480	1000	111	138
Vält, Väderstad Rollex RX 940	0,27	3500	1000	111	105
Gödsling, Bogballe SST1200	0,64	625	1000	111	44
Spruta, Hardi TZ 1500	0,2	800	1000	94	15
Tröska, Fortschritt E524	1,25	9230	3600	76	244
Tork, Akron 2A-166	3,5	4150	12 500	111	129
Panna, Akron Typ 1007 P	3,5	850	10 000	111	33
Halmpress, Claas Quadrant	0,50	5500	1000	83	228
Gisebo 2120/S	0,45	3400	1000	101	154
Gisebo 2122/S	0,45	3400	1000	101	154
Transporter, Gisebo 2711	0,30	1360	1000	111	45
Frontlastare, Trima 1420	0,265	560	1000	111	16
Traktor stor, Case IH 7120	4,22	7044	10 000	76	226
Traktor liten, MF 3060	2,90	3845	10 000	76	85
Summa:					2586
Underhåll: 10%					259
Totalt (till tab.22)					2845

Tabell 22: Total energiinsats för odling av höstvet:

Insatsmedel eller motsvarande	Mängd/ha	Energiinnehåll, MJ/kg eller MJ/MJ	Energiinsats MJ/ha
Diesel	196,7	50,3	9894
Utsäde	216	16	3456
Kalksalpeter	450	6,7	3015
NPK 20 5 9	400	9,89	3956
Glean	0,02	101	2
Starane	2 liter	101	202
El för torkning	95 MJ	1,58	150
Transport, gödsel till gård, 200 km	850	0,576	490
Maskinenergi enl.tab.20			2845
Summa:			24 010

Förbränning av spannmål

Det som tillkommer i detta moment är bara en transport från gården till värmeverket, 20 km bort. Samma vagnar som vid halmbärgningen, Gisebo 2120/S och 2122/S, i vagntåg. Dessa lastar totalt 18 ton vilket innebär 3 rundor per 10 ha. Detta ger 0,3 rundor per hektar. Effektbehovet är 55 kW alltså 43% belastning på stora traktorn.

Traktor- och maskintid: Transport 20 km ToR, 20 km/h \Rightarrow 2 h/lass

Tillägg 0,5 h/vända

Tre vändor \Rightarrow 7,5 h/10 ha

Summa maskintid: 0,75 h/ha

Tabell 23: Energiinsats för spannmål till förbränning:

Insatsmedel eller motsvarande	Mängd/ha	Energiinnehåll MJ/kg el. MJ/MJ	Energiinsats MJ/ha
Energiinsats för odling enl. tab. 21.			24 010
Maskinenergi, traktor.			40
Maskinenergi, vagnar.			515
Diesel, 13 kg/h.	9,75 kg/ha	50,3	490
Summa:			25 055

Avkastning av energi:

Enligt förutsättningarna avkastar spannmålssystemet följande:

5400 kg kärna a' 14,9=80 460 MJ/ha

1000 kg halm a' 14,4 MJ/kg=14 400 MJ/ha

Totalt 94 860 MJ/ha.

Då den totala insatsen av energi i systemet är 25 055 fås en kvot som är 3,79.

Bergman, (1980) kom fram till 5,8, den siffran är beräknad på en årlig halmskörd på tre ton/ha och år. Om man räknar om den siffran till att innefatta lika stor halmskörd som jag gjort i detta arbete fås kvoten till 4,1.

Etanoltillverkning av spannmål**Bakgrund:**

För att framställa etanol ur en stärkelserik produkt som vetekärna måste först stärkelsen omvandlas till socker, hydrolyseras. Detta görs med hjälp av enzymer och uppvärmning av mäsken, stora mängder vatten går också åt. Därefter förjäses sockret till etanol och koldioxid. Restprodukten, dranken, består bland annat av proteinet i kärnan samt stärkelse och socker som av olika anledningar inte omvandlats.

Koncentrationen av etanol är låg cirka 12%. För att öka koncentrationen till tekniskt användbara nivåer avskiljs etanolen med hjälp av destillering. Då erhålls en blandning med 95,5% etanol och resten vatten. Denna produkt går att använda i ottomotorer som renalkoholbränsle. Om man vill använda etanol som blandbränsle för inblandning i exempelvis bensin måste vattnet tas bort. Detta kallas absolutering. Jag har valt att räkna på framställning av 95,5%-ig etanol.

Energiåtgång i processen:

Energiåtgången i etanolprocessen är som följer (Dahlgren, 1993):

El	3 273 MJ/ha
Värme till fermentering och destillering	14 727 MJ/ha
Värme till torkning av dranken	13 091 MJ/ha

Energiinnehållet i el är 1,58 MJ/MJ enligt allmänna förutsättningar.

Energiinnehållet i värme beror på hur värmen produceras, jag räknar på att den produceras med salixflis.

□ Energiinsats per hektar i salixodlingen:	193 509 MJ
□ Effektivt värmevärde i flisen från ett hektar:	3 726 000 MJ
□ Summa:	3 919 506 MJ
□ Kvot mellan summa och effektivt värmevärde:	1,05

Detta innebär att energiinnehållet i salixflis är 1,05.

Flisen förbränns i en panna som har en pannverkningsgrad som är 0,90.

Detta gör att flisåtgången blir, räknat på MJ effektivt värmevärde.

$(14\,727 + 13\,091) / 0,90 = 30\,909$ MJ/ha.

Dessutom görs ett tillägg på 0,4% på energianvändningen inklusive energi i spannmålen för byggnad och underhåll av anläggningen, (Nord & Nygaard, 1984).

Denna siffra gäller aluminium- och cementfabriker vilket är energiintensiva industrier, så mitt antagande att etanoltillverkning har samma energikostnad för byggnader och underhåll är troligtvis en underskattning.

Energiinnehållet i spannmål är 14,9 MJ/kg kärna. Detta ger;

$5400 \cdot 14,9 = 80\,460$ MJ/ha.

Tabell 24: Energiinsats för etanoltillverkning av spannmål:

Insats	Mängd/ha	Energiinnehåll	Total energiinsats, MJ/ha
Energiinsats för odling enl. tabell 22			24 010
Transport spannmål, 5400 kg, 75 km			1 555
Värme	30 909 MJ	1,05 MJ/MJ	32 454
El	3066 MJ	1,58 MJ/MJ	4 844
Tillägg för byggnad och underhåll, 0,4% av total energiinsats (Ovanstående plus energi i spannmålen, 80 460 MJ)			573
Total energiinsats för etanoltillverkning:			63 436 MJ/ha

Energiåtgången för själva etanolprocessen är 39 426 MJ/ha (63 436-24 010). Som jämförelse kan nämnas att Danfors och Nordén, 1981 kom fram till en energiåtgång på 21,6 MJ/liter 95,5%-ig etanol, inklus' ve torkning av drank, detta motsvarar 43 272 MJ/ha.

Avkastning av energi:

Enligt förutsättningarna för spannmålssystemet är avkastningen per hektar:

2000 l etanol a' 23,70 MJ/l = 47 400 MJ/ha

1000 kg halm a' 14,4 MJ/kg = 14 400 MJ/ha

2100 kg foder a' 8,38 MJ/kg = 17 600 MJ/ha

Totalt 79 400 MJ/ha.

Då den totala energiinsatsen i systemet är 63 436 MJ/ha fås en energikvot som är 1,25. Med andra ord, om man sätter in en MJ i odlingen får man 1,25 MJ tillbaka.

DISKUSSION

Bakgrund

Enligt denna analys "lönar" sej alla tre grödorna med sina respektive varianter. Resultaten spänner över ett stort område, från 1,25 för etanol från spannmål till 19,3 för salix. Det är ju bra, då ska man alltså satsa på energiskog om man vill vara så energieffektiv som möjligt.

Ovanstående stämmer i och för sig men frågan är mycket komplex. Det är väldigt många aspekter som måste vägas in i beslutet. Det är inte självklart att det är kvoten mellan insatt och erhållen energi som är det intressanta. Det kan mycket väl vara intensiteten, det vill säga hur många MJ man "tjänar" på varje hektar. Med andra ord vad ett bestämt fält kan leverera.

En annan aspekt som är intressant är utbyteskvoten mellan insats av drivmedel och erhållet drivmedel, med drivmedel avser jag fordonsbränsle. Denna fråga är intressant då vi i Sverige inte har någon direkt brist på värmeenergi, hade vi det skulle vi inte kyla bort all värme som bildas vid våra kärnkraftverk (över hälften av total energiproduktion vid dessa anläggningar kyls bort). Dessutom kan värme tillvaratas från en hel mängd annan industri, samt att värmebesparingar kan göras. Drivmedel, lätt omsättbart till mekanisk energi, är däremot en bristvara. Vi importerar fossila drivmedel till hela vår fordonspark och att ersätta detta bränsle med biobränslen skulle vara en stor miljövinst, både lokalt och globalt.

I denna diskussion ska först intensitetsfrågan behandlas, därefter försöker jag göra en utbyteskvot för drivmedel från de olika grödorna.

Intensitet

Tabell 25: Avkastning av energi per hektar, samtliga grödor:

Odlingssystem	Energiinsats, MJ/år och ha	Energiskörd/år och ha	"Energiöverskott" MJ/ha och år
Salix för värmeproduktion: (3 726 000 MJ/ha på 19 år)	8 000	149 000	141 000
Salix för etanoltillverkning:	77 000	140 000	63 000
Rapsolja, kallpressad:	24 000	74 000	50 000
Rapsolja, förestrad:	27 000	74 000	47 000
Spannmål för värmeproduktion:	25 000	95 000	70 000
:			
Etanol från spannmål:	62 000	79 000	17 000

Enligt tabell 24 är energiskog det alternativ som avkastar mest energi per hektar, om man gör inte gör etanol av den. Spannmålsetanol ser ut som en dålig affär men då belastas den av torkning av draken, om man räknar etanolen som en biprodukt vid fodertillverkning får man andra resultat. Energiskog för värmeändamål skiljer sej kraftigt från de andra, detta beroende på att där inte krävs någon processenergi och energin är i form av värme.

Känslighetsanalys

Jag har gjort en enkel känslighetsanalys av de olika systemen för att undersöka om resultaten kan användas något vidare än bara på typodlingarna. Dessutom är det intressant att se om något odlingssystem är känsligare än de andra för förändringar. Känsligheten testas med avseende på avkastningskvot det vill säga "totala energikvoten", och "energiöverskott per hektar". Både minskning i maskinenergi och bränsleminskning har beaktats.

Salix för värmeändamål:

Skörden minskas med 4 ton TS till 6 ton TS/ha och år. Då minskar insatsen av energi vid skörd och flistransport. Minskningen i avkastning är 8 ton råflis/ha (50% fukt) a' $8,1 \text{ MJ/kg} = 64\,800 \text{ MJ/ha}$.

Då erhålls en kvot som är 12,0 vilket är en försämring med cirka 35%.

Energiöverskottet blir 77 000 MJ/ha och år, en försämring med 45%.

Salix för etanoltillverkning:

Samma skördeminskning som för salix för värmeproduktion. Minskning av insatsen vid skörd, flistransport med lastbil, etanol och lignintransport, processenergi samt underhåll. Minskningen i avkastning är 56 000 MJ/ha och år.

Kvoten blir 1,79 vilket är en försämring med 2%.

Energiöverskottet blir cirka 39 000 MJ/ha och år, en försämring med 38%.

Kallpressad rapsolja:

Skörden minskas med 500 kg till 2300 kg/ha, 18% VH. Då minskar energiinsatsen vid torkning och pressning. Energiåtgången för transport påverkas inte då antalet lass per tio hektar blir detsamma med valda förutsättningar. Minskningen i insatsen blir 642 MJ/ha. Kvoten blir 2,34 vilket är en försämring med 16%.

Energiöverskottet blir cirka 30 000 MJ/ha och år, en försämring med 25%.

Förestrad rapsolja:

Samma skördeminskning som vid kallpressad rapsolja. Samma minskning av energiinsatsen för odling och pressning men även minskning av insatsen i processen såsom värme, metanol, underhåll och alla transporter.

Minskningen blir 1145 MJ/ha. Kvoten som erhålls är 2,16, en försämring med 12%.

Energiöverskottet blir cirka 29 000 MJ/ha, en försämring med 24%.

Spannmål för värmeproduktion:

Skörden minskas med 600 kg/ha, 18% VH. Då minskar energiinsatsen för torkning samt transporten mellan gården och värmeverket. Transporten av spannmål från fältet påverkas ej då antalet lass per tio hektar är detsamma även vid denna skördenivå.

Kvoten blir 3,39, en minskning med 11%.

Energiöverskottet blir cirka 60 000 MJ/ha, 14% minskning.

Spannmål för etanoltillverkning:

Skörden minskas med 600 kg till 5000 kg/ha, 18% VH. Då minskar energiinsatsen för torkning, processvärme, processel, alla transporter med lastbil samt underhåll. Transporten av spannmål från fältet påverkas inte då antalet lass per tio hektar blir detsamma även vid denna skördenivå.

Kvoten blir 1,19 vilket är en försämring med 5%.

Energiöverskottet blir cirka 11 000 MJ/ha, en försämring med 21%.

Diskussion av känslighetsanalysen:

Trots att ovanstående känslighetsanalys är tämligen enkel kan man ändå dra följande slutsatser. Den totala energikvoten ändras inte så mycket, i vissa fall förvånansvärt lite. Energiöverskottet per hektar ändras däremot betydligt mer. Detta säger att det inte går att dra några absoluta slutsatser om en grödas värde i ett energiodlingssystem genom att bara titta på energikvoten. Man måste även väga in andra faktorer som exempelvis energiöverskottet per hektar.

Utbyteskvot, drivmedel

Med denna rubrik menar jag en kvot bildad av energiutbyte från systemet i form av effektiva värmevärdet i fordonsbränsle och energiinsats i form av fossila bränslen och el.

Energiinsatsen i maskiner, lastbilstransporter och bekämpningsmedel anses vara i form av drivmedel. Elenergi räknas också med då den är lätt omvandlingsbar till mekanisk energi. Dessutom ingår naturligtvis diesel och bensin i insatsen.

I följande beräkningar presenterar jag resultat med handelsgödseln både medräknad och undantagen. Detta beror på att i dagsläget används olja eller naturgas vid framställning av gödseln, rent teoretiskt kan man dock även använda biobränslen som huvudsaklig energikälla. Detta gör att det är svårt att säga vad som är rätt eller fel, därför presenteras alltså båda resultaten.

Tabell 26: Utbyte av drivmedel, alla grödor, resultat exklusive handelsgödsel inom parentes:

Odlingssystem	Insats, MJ/år och ha	Skörd/år och ha	Utbyteskvot, Drivmedel	"Drivmedelsöverskott". MJ/ha och år
Etanol från salix:	21 000 (18 000)	37 000	1,8 (2,1)	16 000 (19 000)
Rapsolja, kallpressad:	24 000 (15 000)	27 000	1,1 (1,8)	3 000 (12 000)
Rapsolja, förestad:	27 000 (19 000)	26 000	0,96 (1,4)	-1 000 (7 000)
Etanol från spannmål:	28 000 (21 000)	47 000	1,7 (2,2)	19 000 (26 000)

Enligt denna tabell är spannmålsetanolen inte så dålig, och eftersom det är drivmedel vi vill ersätta kan man inte totalt avfärda etanol från spannmål. En annan intressant reflexion är att samtliga tre grödor har en utbyteskvot för bränsle, både inklusive och exklusive handelsgödsel som är i samma storleksordning.

Diskussion, utbyteskvot drivmedel:

Vinsten med att odla ovanstående grödor för att framställa drivmedel är bland annat

- Att man får ut dubbelt så mycket drivmedel som man satt in i systemet.
- Genom att använda dessa drivmedel huvudsakligen i städer förbättrar man luftkvaliteten där.
- Det ger ökad sysselsättning på landsbygden.

Problemet är att kvoterna är så låga, de måste bli större för att drivmedelsframställning från energigrödor ska bli verkligt intressant. Sannolikt är det möjligt att förbättra kvoterna men mer forskning och utvecklingsarbete krävs, både inom odlingsteknik och processdito.

LITTERATURFÖRTECKNING

- Andersson, R. 1981. Energianalys av ett modernt jordbruk. Fysisk resursteori CTH Göteborg.
- Andersson, R. 1990. Biobränslen från jordbruket- en analys av miljökonsekvenser. Rapport 3713. Naturvårdsverket. Solna.
- Axenbom, Å & Kristensson, N. 1991. Traktor eller lastbil vid transport av biobränslen. Institutionen för lantbruksteknik. SLU. Uppsala.
- Axenbom, Å. 1991. Halm som bränsle för framtida elproduktion -en sammanfattning av dagsläget. Vattenfall bioenergi. Utveckling och miljö 1991/44. Älvkarleby.
- Bergman, KG (Red). 1980. Energiproduktion i jordbruket. Konsulentavdelningens rapporter. Allmänt 31. SLU. Uppsala.
- Bernesson, S. 1990. Rapsolja och rapsmetylster som drivmedel i traktorer. Institutionen för lantbruksteknik. SLU. Uppsala.
- Bertilsson, G. 1992. Environmental consequences of different farming systems using good agricultural practices. Hydro Supra. Landskrona.
- Böckman, O C et al. 1991. Landbruk og gjödsling. Norsk hydro. Oslo.
- Dahlgren, L. 1993. Personligt meddelande. LRF. Stockholm.
- Danfors, B & Norén, O. 1981. Etanol som motorbränsle, egenskaper, framställning, ekonomi. Meddelande 387. JTI. Uppsala.
- Danfors, B & Nordén. 1992. Teknikutvärdering av energiskogsskördare. Rapport 150. JTI. Uppsala.
- Danfors, B. 1989. Metodstudier vid spridning av växtnäring i högväxande energiskog. Rapport 100. JTI. Uppsala.
- Danfors, B. 1991. Mekanisk och kemisk ogräsbekämpning i nyanlagda salixodlingar. Rapport 129. JTI. Uppsala.
- Danfors, B. 1992. Salixodling, Maskiner, arbetsmetoder och ekonomi. Meddelande 436. JTI. Uppsala.
- Databok för driftplanering. 1989. Speciella skrifter nr 37. SLU. Uppsala.
- Elinder, M & Falk, C. 1893. Arbets och maskindata inom jordbruket. Institutionen för lantbruksteknik. SLU. Uppsala.

- Fluck, RC. 1992. Editor. Energy for Farm Production, Vol.6 of Energy for World Agriculture. Elsevier. Amsterdam.
- Eriksson, B. 1986. Lantbruksmaskinernas värdeminskning. Institutionen för lantbruksteknik. SLU. Uppsala.
- Fors, J & Nord, B. 1980. Energianvändningen inom massa och pappersindustrin, SCA-Nordliner i Munksund. Information nr. 174-1980. STU. Stockholm.
- Hallén, D & Nordh, N-E, 1991. Mekanisk ogräsbekämpning i salixodling, rapport från försök. Institutionen för ekologi och miljövard. SLU. Uppsala
- Handbook of chemistry and physics 60 th edition, 1980. Chemical rubber company. Cleveland, Ohio.
- Kraftsamling, 1990. Lantmännens katalog. Stockholm.
- Lagerfelt, A. 1992. Pressning av raps till olja och foder, erfarenheter från Logården -91. Institutionen för lantbruksteknik. SLU. Uppsala.
- Mörtstedt, S-E & Hellsten, G. 1987. Data och diagram. Esselte Studium. Stockholm.
- Nilsson, C & Ekström, N. 1982. Halm som bränsle, Bakgrund och systemlösningar. Specialmeddelande 114. Institutionen för lantbrukets byggnader. SLU. Lund.
- Norén, O. 1990. Rapsolja för tekniska ändamål -framställning och användning. Meddelande 429. JTI. Uppsala.
- Nygaard, J & Nord, B. 1984. Energy input analyses in the pulp and paper industry. STU. Stockholm.
- Regestad, S. 1993. Personligt meddelande. Stiftelsen svensk etanolutveckling, Örnköldsvik.
- Sennerby-Forsse, L & Johansson, H. 1989. Energiskog -handbok i praktisk odling. speciella skrifter nr 38. SLU. Uppsala.
- Statens maskinprovningar meddelande 3080, grp 37. 1987. Spannmålstork Akron dubbeltork typ 2A-166. Uppsala.
- Statens maskinprovningar meddelande 3163, grp 2. 1988. Traktor Massey Fergusson 3060 (4WD). Uppsala.
- Statens maskinprovningar meddelande 3221, grp 25. 1989. Skördetröska Fortschritt E 525. Uppsala.
- Statens maskinprovningar meddelande 3254, grp 2. 1990. Traktor Case International 7120, Magnum. Uppsala.
- Åkermo, R. 1990. Avveckling av energiskog på åkermark. Rapport 116. JTI. Uppsala.

Muntliga referenser

Bågenholm, Olof, 1992. Plönninge Lantbruksskola. Halmstad.

Eriksson, H-A, 1993. LMB. Stockholm.

Odal växtodling, 1993. Norrköping.

Sjösvärd, Lars, 1993. Agrobränsle. Enköping.

Svea maskin, 1993. Uppsala.

Svensson, K-E. 1993. AB Akronmaskiner, Järpås.

Wibergs, AB C M vagn och redskapsfabrik. 1993. Ransta.

Wilstrands svets och mekaniska AB. 1993. Hedemora.

Ej refererad litteratur

Björling & Eriksson. 1985. Etanolproduktion baserad på lignocellulosahaltiga material -slutrapport. Projektrapporter nr 6. Statens industriverk. Vällingby.

Ekström et al. 1991. Biobränslebaserad metanol och etanol som bränsle -översiktlig studie. FUD-Rapport 1991:66. Statens industriverk. Vällingby.

Forsberg, J et al. 1991. Skadegörare i energiskog av salix. Speciella skrifter nr 47. SLU. Uppsala.